19

ELETRÔNICA RÁDIO E TV

SUMÁRIO

INSTITUTO UNIVERSAL BRASILEIRO

CURSO DE ELETRÔNICA BÁSICA RÁDIO-TV
19ª LIÇÃO TEÓRICA
ESTEREOFONIA

Introdução

A tendência geral dos pesquisadores de áudio é a de aproximar, o mais possível, a reprodução da realidade acústica. Para tanto, foram desenvolvidos os sistemas de alta-fidelidade, em que se diminui a distorção e se aumenta a faixa dinâmica de reprodução, como vimos nas lições anteriores. Entretanto, se a Hi-Fi foi uma excelente conquista da moderna reprodução audiofônica, faltava-lhe ainda o efeito de profundidade do som. De fato, o som proveniente de uma fonte sonora única (alto-falante) não dá ao ouvinte a sensação subjetiva de estar em um auditório, porque nele (auditório) se ouvem, com os dois ouvidos, sons provenientes de diversas fontes separadas.

Constatou-se que nossos ouvidos são mais sensíveis aos fatores direção e distância dos sons. Baseados nesses fatos, os pesquisadores tiveram a idéia de gravar e reproduzir os sons através de fontes separadas. Assim, o ouvinte tem a sensação de "espaço", como se estivesse no auditório. O sistema de gravação e reprodução através de vários canais recebeu o nome de **estereofônico**, termo derivado de **estéreo**, cujo significado é volume (físico) ou espaço.

Nesta lição, procuraremos dar ao aluno noções sobre estereofonia, que é uma técnica aparentemente simples, mas que necessitou de muitas pesquisas e soluções originais, para que fosse definitivamente implantada.

Figura 2 - Reprodução estereofônica de discos.

I - Gravação estereofônica

1 - Gravação em discos

Na estereofonia, o que se faz é registrar simultaneamente sons provenientes de várias fontes, com conteúdo de informações diferentes, e depois reproduzi-los segundo o mesmo sistema.

A cada fonte de registro ou reprodução dá-se o nome de **canal**. Assim, existe som estereofônico de 2 canais, 3 canais, etc, apesar de, na prática, adotar-se apenas a estereofonia de 2 canais. Quanto maior o número de canais, mais real será a reprodução. Na **figura 1**, representamos, de maneira esquematizada, a disposição do equipamento de gravação em dois canais e, na **figura 2**, a disposição para a reprodução. Na gravação são necessários dois microfones, dois amplificadores e uma cabeça gravadora dupla (para o caso de

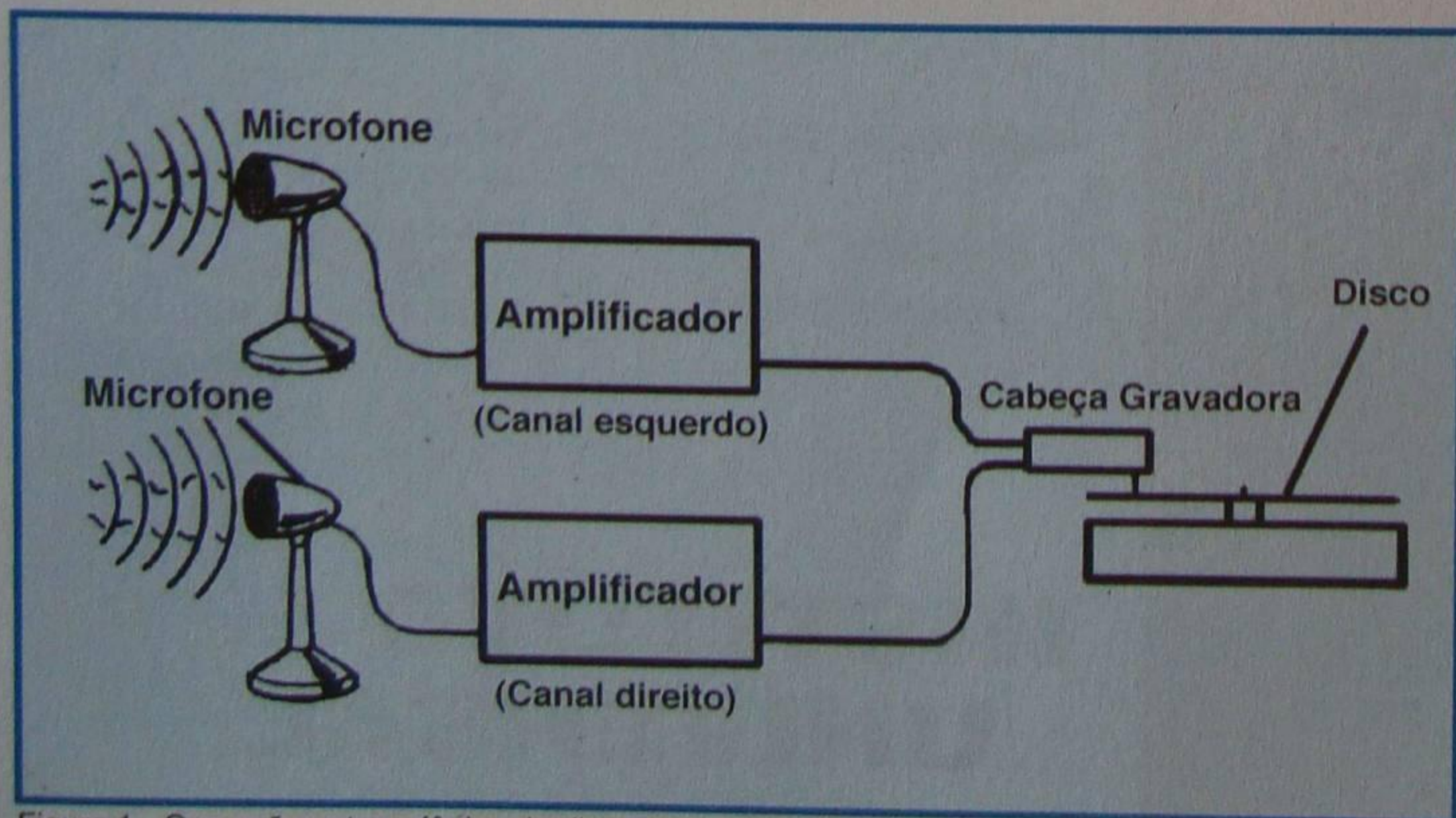



Figura 1 - Gravação estereofônica de discos.

gravações em discos que representamos na figura citada). Para a reprodução deve-se ter: dois fonocaptadores (um duplo), dois amplificadores e dois sistemas de alto-falantes.

Exposta dessa maneira, a gravação estereofônica parece ser bastante simples; porém, muitas dificuldades tiveram de ser vencidas até o aparecimento do disco estereofônico verdadeiramente audível. A parte eletrônica não constitui nenhum problema; as dificuldades são todas de ordem mecânica.

No início das pesquisas, inúmeros sistemas de gravação foram criados, apresentando cada um deles vantagens e deficiências.

O que se apresentou mais favorável é o chamado sistema Westrex 45/45. As vantagens principais do sistema Westrex 45/45 são:

1ª) Compatibilidade

Um disco estereofônico pode ser reproduzido em um aparelho monofônico (um só canal), sem perdas sensíveis do programa original e, inversamente, um disco monofônico é reproduzido pelo sistema estereofônico, sem perdas sensíveis. É claro que em qualquer destas situações a reprodução será monofônica. Somente será estereofônica se o disco estéreo for reproduzido no sistema estéreo.

2ª) Duração

No sistema Westrex 45/45, a gravação estéreo tem o mesmo tempo de duração que a gravação monofônica de um LP (long-playing = longa duração) comum.

Sistema Westrex 45/45

Vamos descrever rapidamente como é a gravação nesse sistema.

No anterior, referimo-nos a gravação de discos, afirmando que a agulha cortadora, chamada **estilete**, se move lateralmente, de acordo com a freqüência do sinal que se quer gravar. No caso da gravação estereofônica, o estilete deve obedecer a duas excitações, ou seja, uma para cada canal. No sistema Westrex 45/45, o estilete tem a forma que

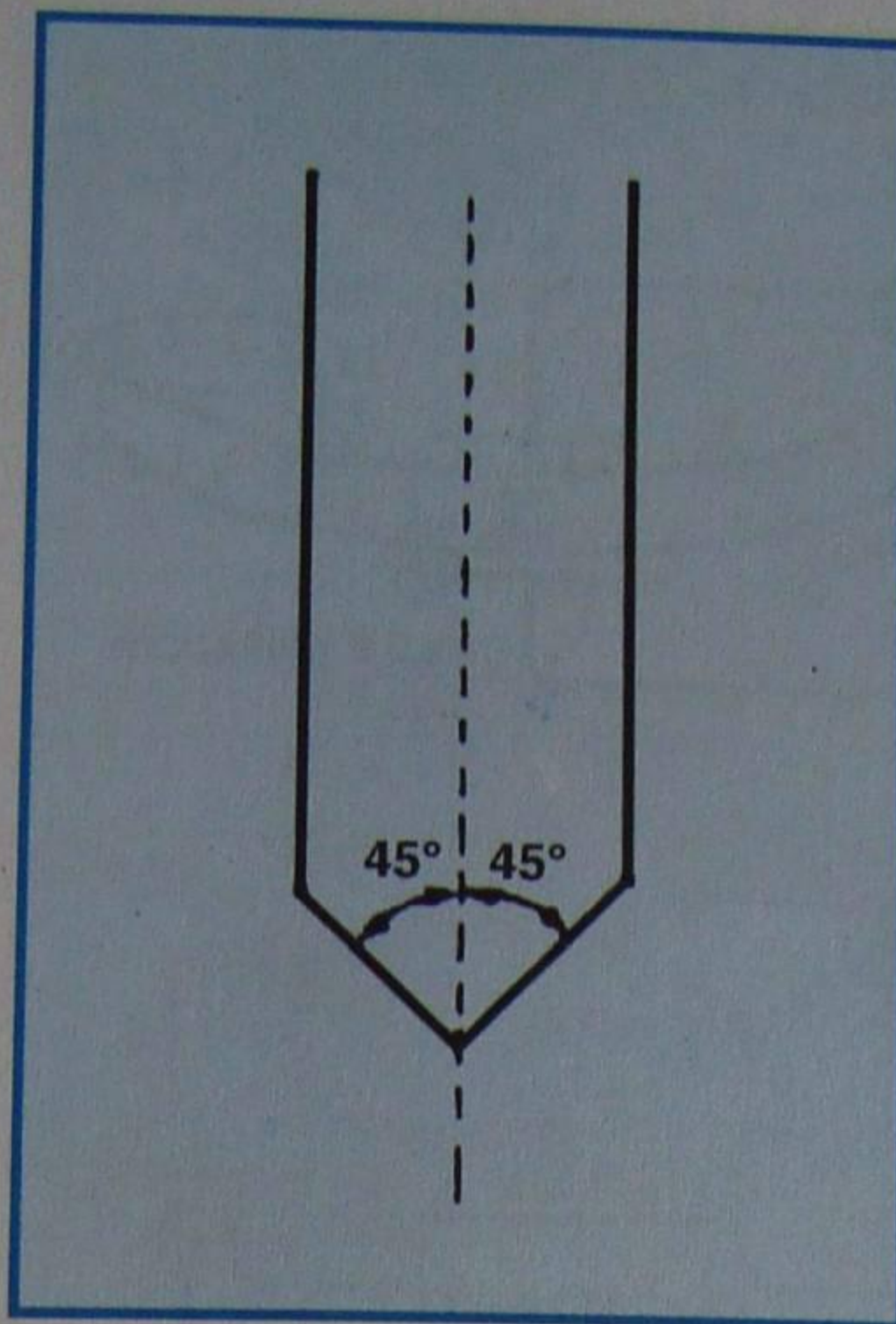



Figura 3 - Agulha cortadora.

representamos na **figura 3**, ou seja, sua ponta apresenta ângulo de 90° entre as faces cortantes. Este estilete fica sujeito a duas forças, na gravação, que fazem ângulo de 45° com seu eixo (eixo do estilete). Essas forças imprimem ao estilete movimentos que são paralelos às faces cortantes como mostramos nas **figuras 4** e **5**. Deste modo, quando o estilete é excitado por um canal, ele corta uma das faces do sulco, e quando pelo

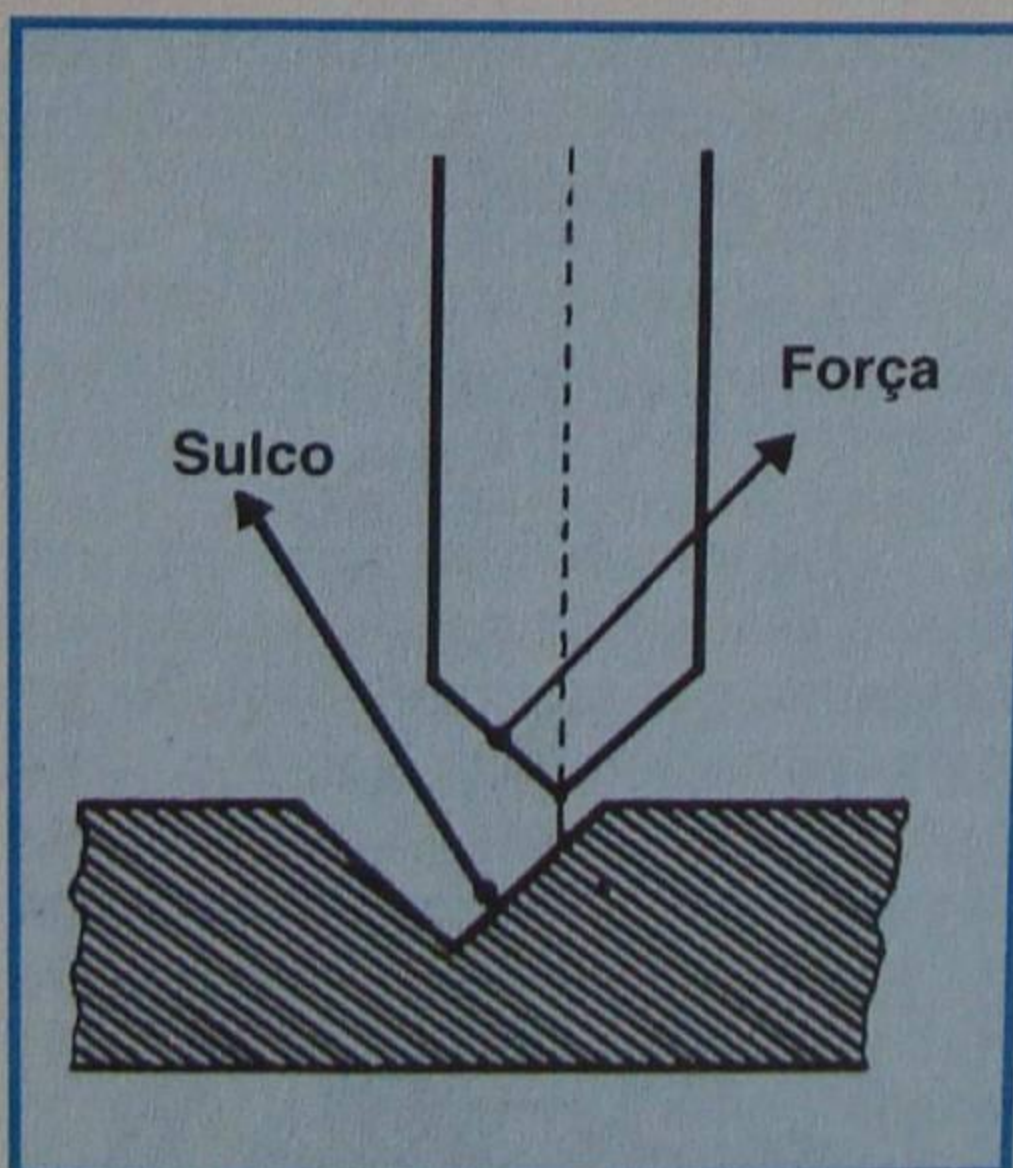



Figura 4 - Estilete excitado pelo canal A.

outro, corta a outra. Devido ao fato de as forças fazerem ângulo de 45° com o eixo do estilete, o sistema foi batizado de 45/45.

Resumindo, temos que, no

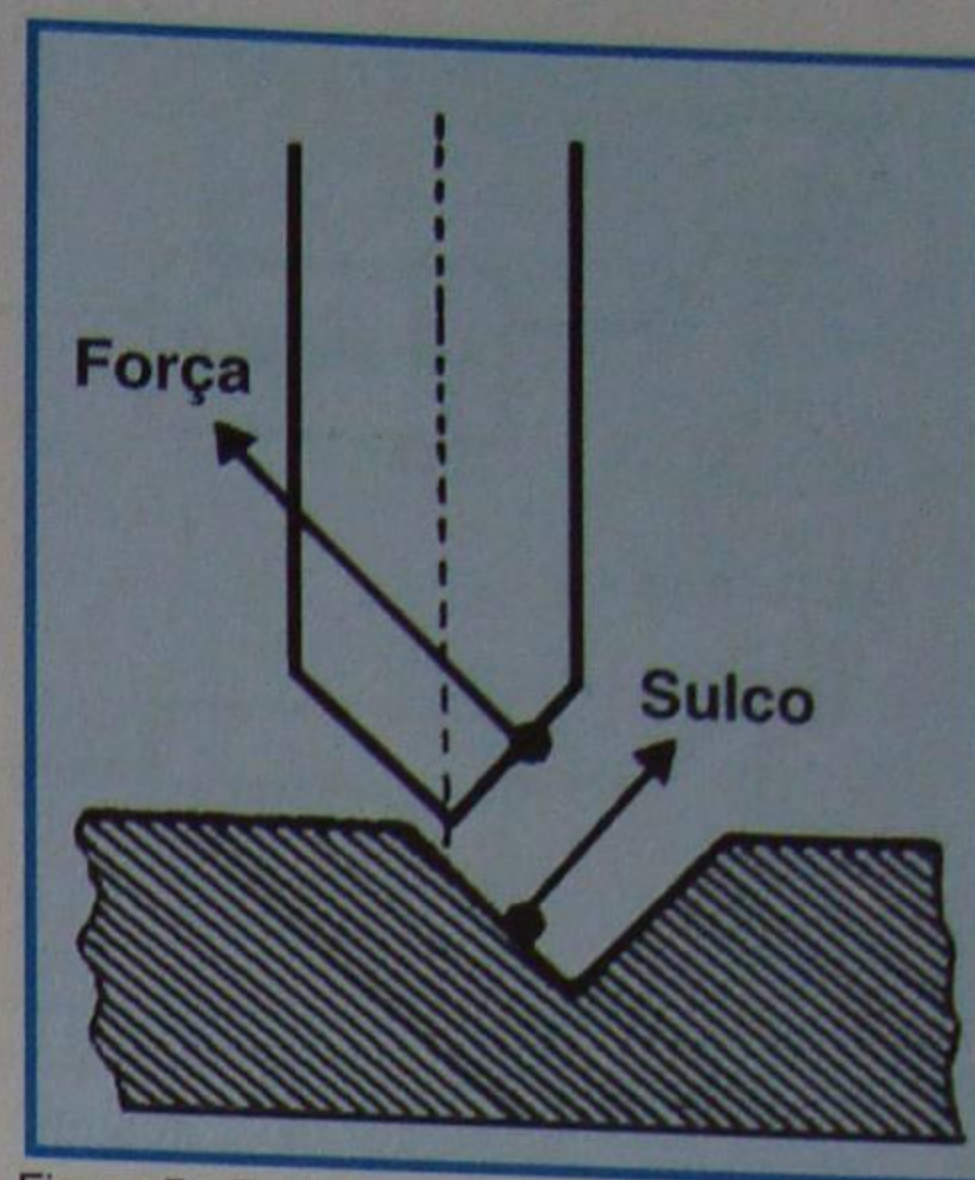



Figura 5 - Estilete excitado pelo canal B.

sistema Westrex 45/45, adotado universalmente para gravações estereofônicas de discos, a informação referente a cada canal é descrita nas faces laterais do sulco. As indústrias gravadoras adotaram a prática de gravar o canal direito na face exterior do sulco.

2 - Gravação em fitas

A gravação em fitas magnéticas é muito mais simples que a gravação em discos e, dado o grande desenvolvimento mecânico e químico experimentado pelas fitas magnéticas e dispositivos de acionamento, sua qualidade é superior à do disco. Basta observar que nos grandes estúdios a gravação é feita em fitas, para posteriormente ser transferida ao disco.

Em discos é viável gravação estereofônica direta somente em dois canais, o mesmo não acontecendo com a gravação em fitas, uma vez que o número de canais fica limitado somente pela largura da fita. Como exemplo, podemos citar as gravações em fitas cinematográficas; em tais fitas do tipo "cinemascope" se fizeram gravações de até 6 canais. As grandes companhias gravadoras de disco utilizam número muito grande de canais e pistas (12 a 36 pistas), para depois efetuar a mistura (mixagem) e conseguir os efeitos sonoros desejados.

Os gravadores para amadores, esses que se encontram no comércio, são projetados para 2 canais. A cada canal correspondem um microfone, um amplificador e uma cabeça gravadora. Para a reprodução deve-se ter, para cada canal, uma cabeça reprodutora,

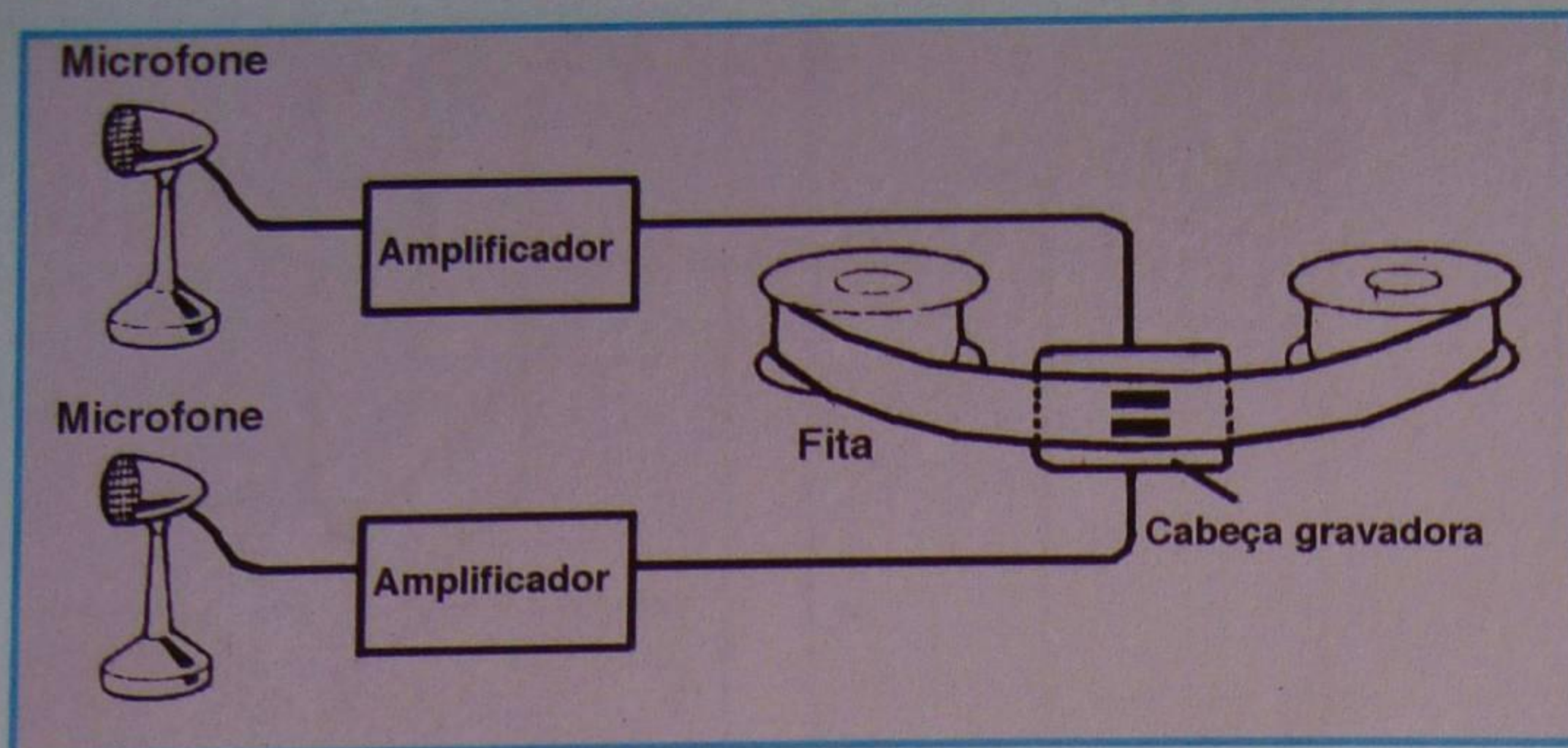



Figura 6 - Processo de gravação estereofônica em fita.

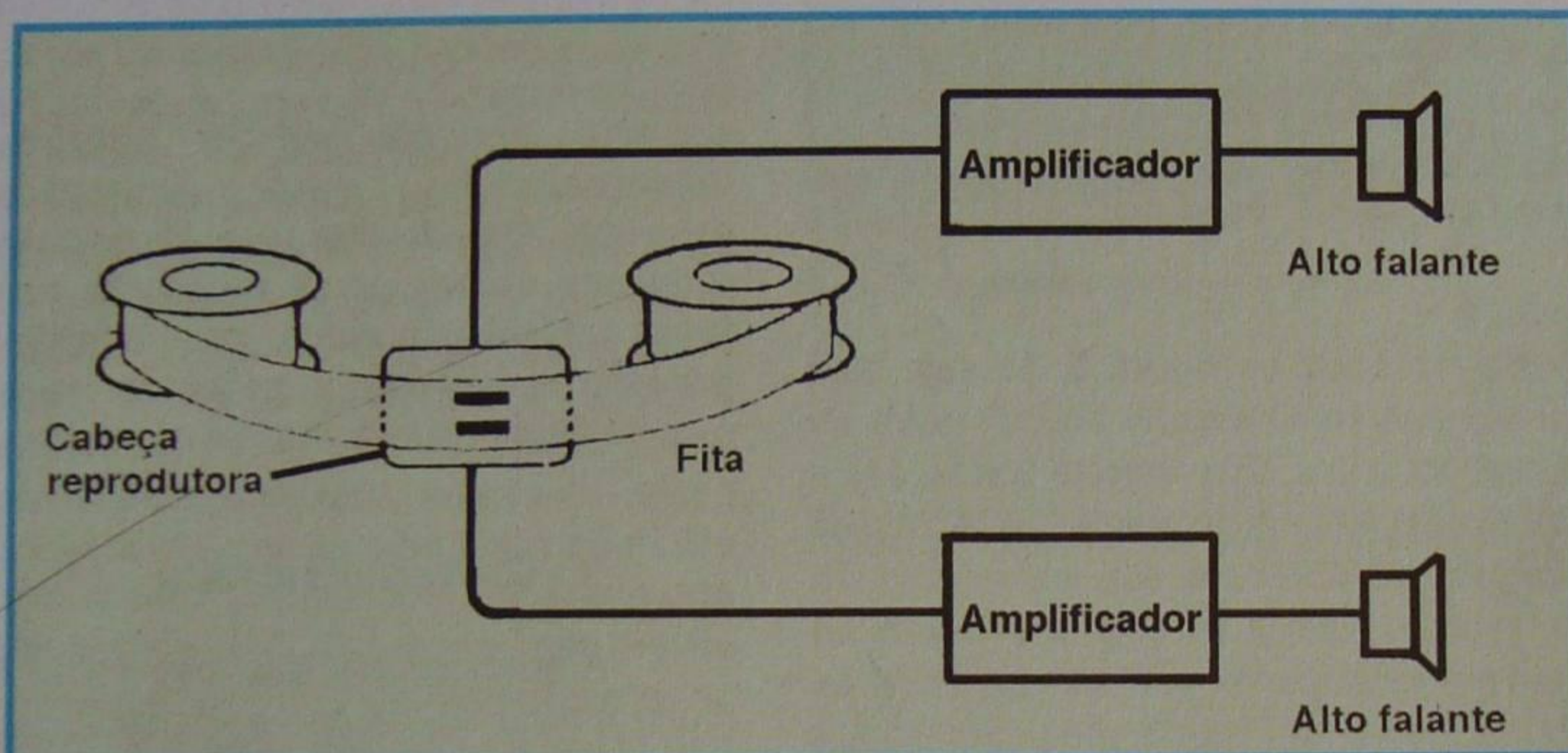



Figura 7 - Processo de reprodução estereofônica em fita.

um amplificador e um alto-falante.

Para se manter o posicionamento correto da fita, tanto na gravação como na reprodução, usa-se cabeça dupla em linha, ou seja, onde as duas secções estão exatamente superpostas.

Para evitar a intermodulação entre os dois canais - que tanto no disco como na fita é chamada de **diafonia** -, deixa-se um intervalo neutro entre as duas pistas.

Na **figura 6**, esquematizamos o processo de gravação estereofônica de fita magnética, enquanto que o processo de reprodução é exemplificado na **figura 7.**

II - Reprodução estereofônica

1- Reprodução de discos

Para reproduzir um disco estereofônico, há necessidade de uma cápsula de leitura (fonocaptador) especial e dois conjuntos idênticos de amplificadores completos, ou seja, pré-amplificadores, amplificadores de potência e alto-falantes.

a) Fonocaptador estéreo

Os transdutores para leitura de discos estereofônicos são construídos baseados nos mesmos princípios que estudamos em lição sobre o tema, sendo mais comuns os magnéticos e piezoelétricos, porém, devem ter um desempenho diferente daqueles construídos para reprodução monofônica, uma vez que devem apresentar, na saída, duas tensões distintas - uma para cada canal -, mantendo as relações originais de fase e intensidade e, também, baixa diafonia.

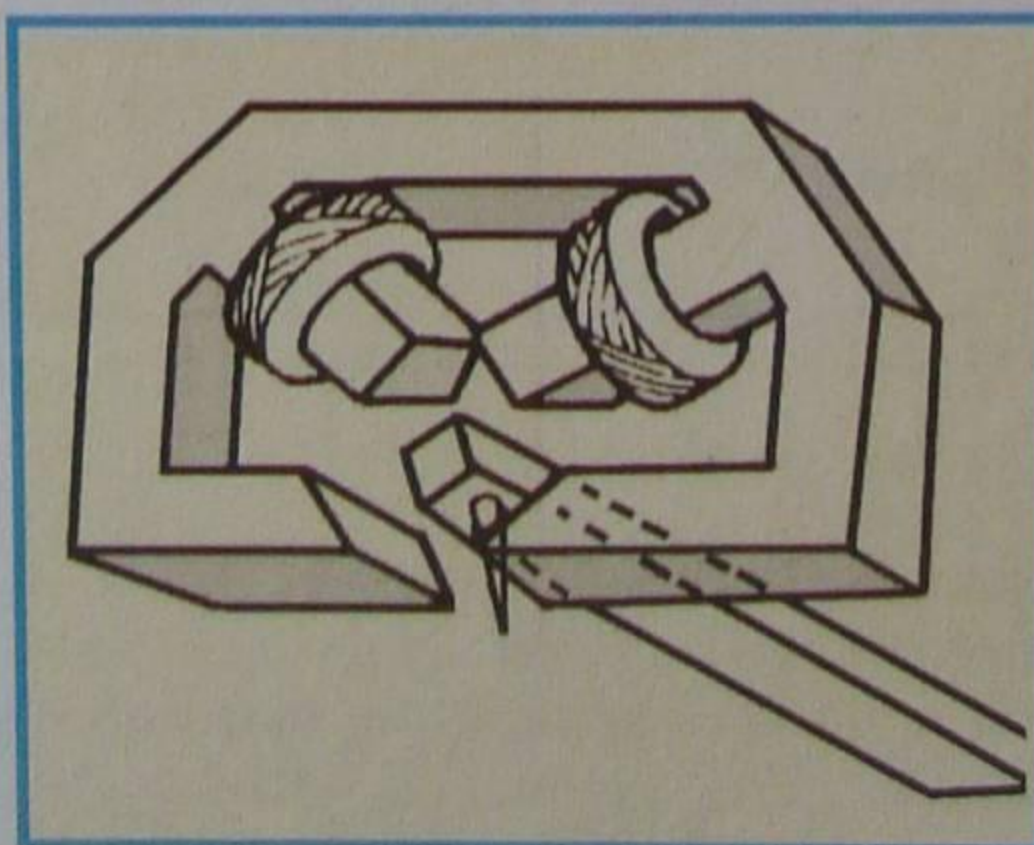



Figura 8 - Fonocaptador estereofônico magnético.

Fisicamente, um fonocaptador estereofônico é formado por duas unidades monofônicas montadas em uma mesma cápsula e tendo uma só agulha. Na **figura 8**, representamos esquematicamente um fonocaptador estereofônico do tipo magnético e na **figura 9**, o do tipo piezoelétrico.

Observa-se que as bobinas ou cristais estão dispostas de modo a fazer ângulo de 45° com o eixo da agulha. Conforme a face do sulco em que a agulha se deslocar, ela produzirá a correspondente leitura.

Tanto a qualidade do fonocaptador como a agulha são elementos importantes para a correta reprodução estereofônica; por isso, quando o aluno se deparar com um aparelho que não esteja reproduzindo em estereofonia, deverá, como primeira medida, verificar o estado da agulha e seu posicionamento em relação ao sulco. Uma agulha "rombuda" ou inclinada em relação ao eixo do sulco destrói o efeito estereofônico, por não poder efetuar a leitura correta dos dois canais, além de causar distorções e desgaste exagerado do disco.

As características principais que devem ser levadas em consideração, para julgar a qualidade de uma cápsula fonocaptadora estereofônica, são as mesmas que indicamos para as monofônicas, ou seja, resposta de freqüência, pressão de apoio, distorção, nível de saída, etc., acrescidas de outra relativa à separação dos canais, isto é, àquela

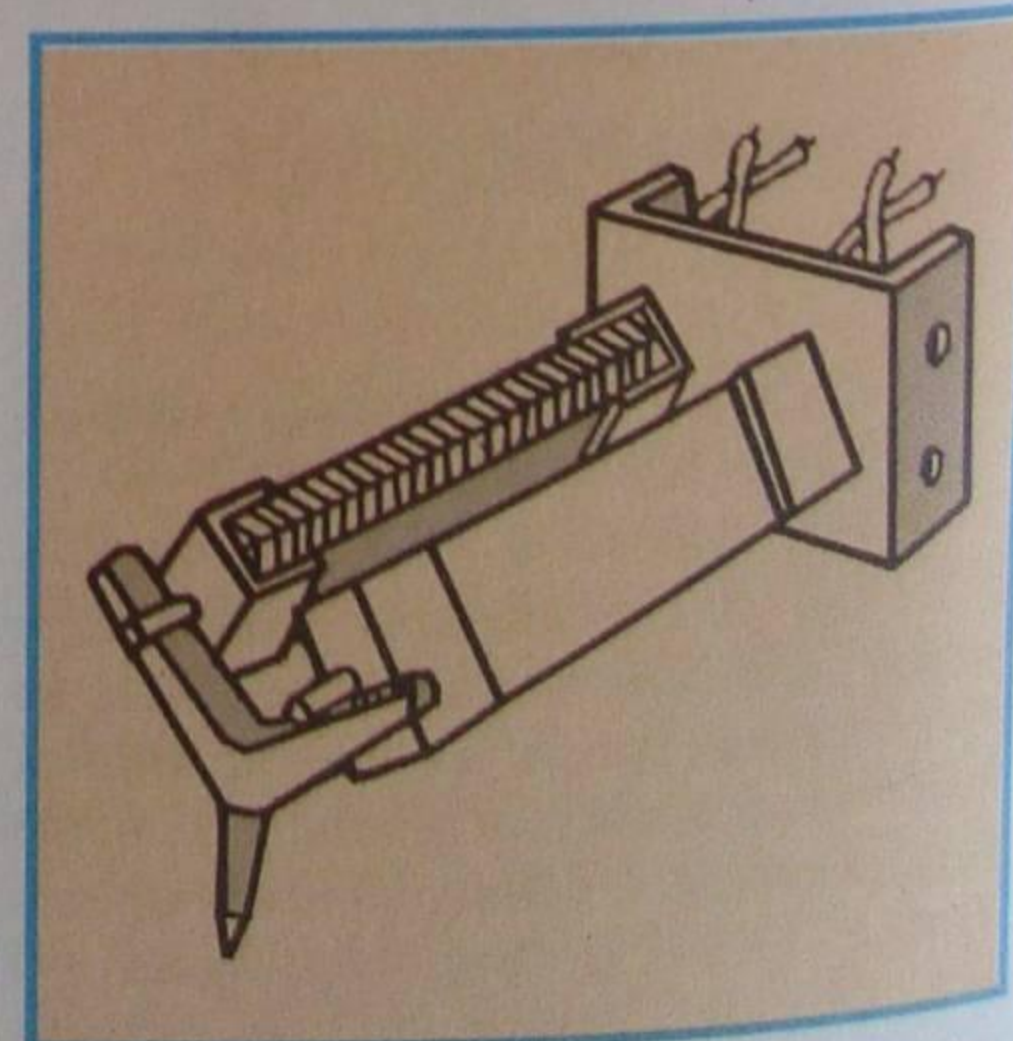



Figura 9 - Fonocaptador estereofônico piezoelétrico.

que indica a diafonia. Esta característica é dada em decibéis, para uma determinada freqüência, geralmente 1 KHz.

As cápsulas de boa qualidade, sejam magnéticas ou piezoelétricas, têm diafonia entre 20 e 30 dB, para a freqüência de 1 KHz. Separação de 20 dB, por exemplo, significa que no máximo um décimo do nível de sinal de um canal estará presente no outro.

b) Amplificador

Cada canal amplificador receberá o sinal correspondente da saída do fonocaptador e o elevará ao nível suficiente para excitar o alto-falante com a potência desejada. As características de amplificadores bem como seus circuitos, foram apresentadas nas lições anteriores do curso e são válidas para a reprodução estereofônica.

Devemos esclarecer que o processo estereofônico não implica em alta-fidelidade, embora seja desejável que a reprodução em estéreo seja em Hi-Fi, para se poder aliar as excelentes qualidades do amplificador à agradável sensação de espaço do sistema estereofônico.

2 - Reprodução de fitas magnéticas

Para a reprodução de fita magnética estereofônica, há necessidade de uma cabeça reprodutora dupla e dois canais independentes e iguais de amplificação. Como na reprodução de disco, também aqui o componente especial é o transdutor de leitura (cabeça reprodutora).

a) Cabeça reprodutora

Quando a fita é gravada e reproduzida por um mesmo equipamento, cabeças magnéticas individuais podem ser utilizadas sem causar qualquer problema, porque a posição relativa dessas cabeças na gravação é a mesma na reprodução. Porém, se a fita gravada em um equipamento for reproduzida por outro diferente, poderá acontecer que a posição relativa das duas cabeças agora não seja a mesma da gravação, o que produzirá uma defasagem no tempo. Para evitar esse inconveniente, foram construídas cabeças duplas, situadas em uma mesma cápsula, colocadas em linha, uma sobre a outra, com os entreferros a distância constante e padronizada. Deste modo, as gravações ficam normalizadas, isto é, podem ser reproduzidas por qualquer gravador. Na **figura 10**, representamos uma cabeça gravadora "em linha", em seu aspecto externo.

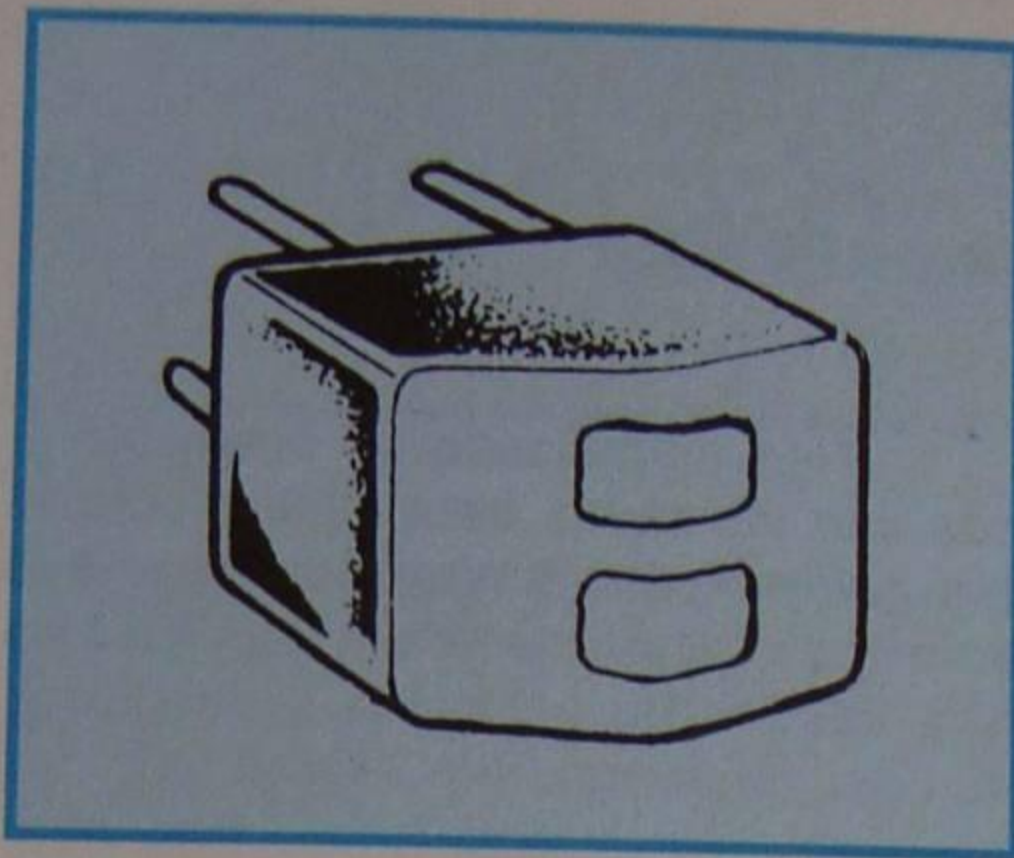



Figura 10 - Representação de uma cabeça gravadora em linha.

As características elétricas das cabeças reprodutoras são semelhantes à dos fonocaptadores para leitura em discos, ou seja, referem-se à resposta de freqüência, sensibilidade, distorção, diafonia, etc.

Chamamos a atenção do aluno, linhas atrás, sobre a importância da agulha e sua posição em relação ao sulco do disco na reprodução estereofônica. Quando se trata de reprodução de fitas magnéticas, especial atenção deve ser dada à cabeça de leitura e sua posição em relação à fita. De fato, a fita deve deslizar na posição correta e na distância exata da cabeça reprodutora, a fim de evitar distorção e perda de sensibilidade. A posição da fita é mantida mecanicamente estável, através de guias adequados; entretanto, a distância da fita à cabeça pode variar, principalmente pelo acúmulo de pó, provocando distorção e perda de sensibilidade em um ou nos dois canais. Quando o aluno se deparar com problema dessa natureza, deverá verificar o estado da cabeça magnética, limpando-a com um líquido especial vendido nas casas do ramo, ou, na falta dele, com algodão embebido em álcool.

Aliás devemos acrescentar que a limpeza das cabeças magnéticas dos gravadores deve ser periódica.

b) Amplificadores

Cada canal de um reprodutor estereofônico de fita magnética faz uso de amplificador de potência semelhante ao que estudamos, não havendo necessidade de alongarmos o assunto.

III - Generalidades sobre o amplificador estereofônico

Mostramos que as cápsulas reprodutoras para discos estereofônicos e as cabeças reprodutoras de fita fornecem uma saída com dois sinais - uma correspondendo ao canal direito e outra ao esquerdo -, os quais devem ser amplificados de maneira idêntica, mas independente.

A igualdade dos canais amplificadores exige que eles tenham mesma curva de resposta, mesma distorção, mesma potência, etc., e controles que difiram muito pouco entre si.

Os amplificadores podem ser montados em um mesmo chassi ou em chassis separados. É usual uma só fonte de alimentação, não apenas por razões econômicas, mas para que sua influência seja a mesma nos dois canais. Os dois transdutores de reprodução (alto-falante + caixa acústica) devem ser sensivelmente iguais.

Especial atenção deve merecer o conjunto tocador de discos, no caso de reprodução discográfica estereofônica em Hi-Fi, é claro, porque dele dependem em grande parte a qualidade da reprodução e a vida útil do disco. Já fizemos referência à cápsula fonocaptadora e à agulha; entretanto, igual ou maior importância tem o "braço de pick-up", do qual trataremos em uma lição especial do curso. Por ora, afirmaremos que o braço deve ser leve, livre de ressonâncias próprias dentro da faixa de áudio, ter possibilidade de controle da força de apoio da cápsula, corretor de força centrípeta, etc.

Quanto ao motor, deve ter velocidade constante, baixa vibração mecânica e pouca radiação eletromagnética, que produz zumbido em fonocaptadores magnéticos.

Devemos acrescentar que as cápsulas estereofônicas são mais sensíveis ao "rumble" e ao acoplamento acústico e mecânico que as

monofônicas, o que obriga a que seja mais eficiente na isolação entre "tocador de discos" e alto-falantes.

Quanto à potência de saída do amplificador estereofônico, valem as observações que se fizeram quando se tratou de amplificadores monofônicos. Ela depende das dimensões da sala de audição e da finalidade do amplificador. Todavia, qualquer que seja a potência, deverá ser igual nos dois canais.

Em amplificadores estereofônicos de alta-fidelidade de uso doméstico para pequenos ambientes, a potência média que se costuma admitir é de 10 W por canal. Os aparelhos portáteis normalmente têm potência máxima de 1,5 W devido às limitações do consumo de energia.

Os audiófilos geralmente exigem potência acima de 40 W, sendo bastante comuns os amplificadores de 100 W ou mais por canal. A causa dessa aparente mania dos apreciadores de música é que a gravação ouvida em baixo nível de volume perde muitos sons, devido ao que se chama de "dinâmica do disco".

Expliquemos: O aluno sabe que, ao executar uma música, a orquestra tem passagens suaves e vigorosas. A variação entre o máximo e mínimo nível de som, isto é, entre as passagens suaves e vigorosas pode ser muito grande, chegando a atingir relação de 10 000 000 para 1, ou mais. Essa relação é chamada de **faixa dinâmica** da orquestra. Na gravação, a dinâmica deve ser mantida. Devido a alguns dos problemas que já citamos como o mascaramento das passagens suaves pelo ruído próprio do disco, por exemplo, não se pode manter a mesma dinâmica, mas, atualmente, os discos e fitas apresentam dinâmica de cerca de 55 dB (a dinâmica é indicada em decibéis) que, transformada em relação de potência, corresponde a aproximadamente 300 000 para 1.

Se admitirmos que a menor potência para que o som seja audível é de 0,1 mW - valor esse que depende do rendimento do alto-falante, condições da sala de audição, etc. e, portanto, pode variar bastante -, segue-se que, para o ouvinte não perder nenhum som, ou, mais exatamente, para que não perca as passagens mais suaves da gravação, deverá ouvi-la com a potência de:

$$300\,000 \times \frac{0{,}1}{1\,000} = 30 \text{ W}$$

Isso justifica a mania dos mais exigentes em matéria de som; entretanto, a prática tem demonstrado que potência de 10 a 20 W é satisfatória e que a grande maioria dos ouvintes não utiliza mais que um ou dois watts para uma audição agradável.

IV - Controles do amplificador

Nos amplificadores estereofônicos são utilizados os mesmos controles que apresentamos, ao tratar dos amplificadores (pré-amplificadores) de alta-fidelidade, acrescidos de outros que examinaremos em seguida.

Os controles, tais como de volume, de graves, de agudos, as chaves seletoras e os filtros devem ser duplos, idênticos e acoplados mecanicamente, a fim de garantir que o desempenho do amplificador seja idêntico nos dois canais.

Quanto aos controles de tonalidade, em alguns casos é conveniente separá-los para cada canal, principalmente em montagens de amadores, porque assim se torna possível corrigir eventuais diferenças de respostas entre canais, atuando nesses controles.

O controle de volume, em qualquer circunstância, deverá ser em tandem, isto é, duplo e de eixo único, e de valores ôhmicos e curvas de variação idênticos.

Os controles específicos de amplificadores estereofônicos são:

a) Controle de equilíbrio (ou balanço)

Este controle permite variar inversamente a amplificação dos dois canais, com a finalidade de corrigir ligeiras diferenças de ganho. A ação do controle de equilíbrio é tal que, girando-se o eixo em um sentido, aumenta-se o ganho de um dos canais, ao mesmo tempo que diminui o ganho do outro. Girando-se no outro sentido, a ação é inversa.

O controle de equilíbrio é efetuado por um potenciômetro duplo, em tandem, de variação inversa, ou por potenciômetro duplo, em tandem normal, sendo que neste caso as ligações de uma das secções terá seus terminais extremos trocados. Na **figura 11**, mostramos como é ligado o controle de equilíbrio. Os amplificadores estão representados em blocos. Como o aluno pode notar na figura, quando o cursor do potenciômetro P_1 estiver na posição de máxima resistência (maior ganho do canal A), o de P_2 estará na posição de menor resistência (mínimo ganho do canal B). Com o cursor no centro, os dois canais estarão em equilíbrio (amplificação igual nos dois canais), se forem idênticos. Outra possibilidade circuital para o controle de equilíbrio é a mostrada na **figura 12** a qual possui a preferência dos projetistas por fazer uso de um único potenciômetro simples. Sua atuação é similar à descrita para o circuito da figura 11.

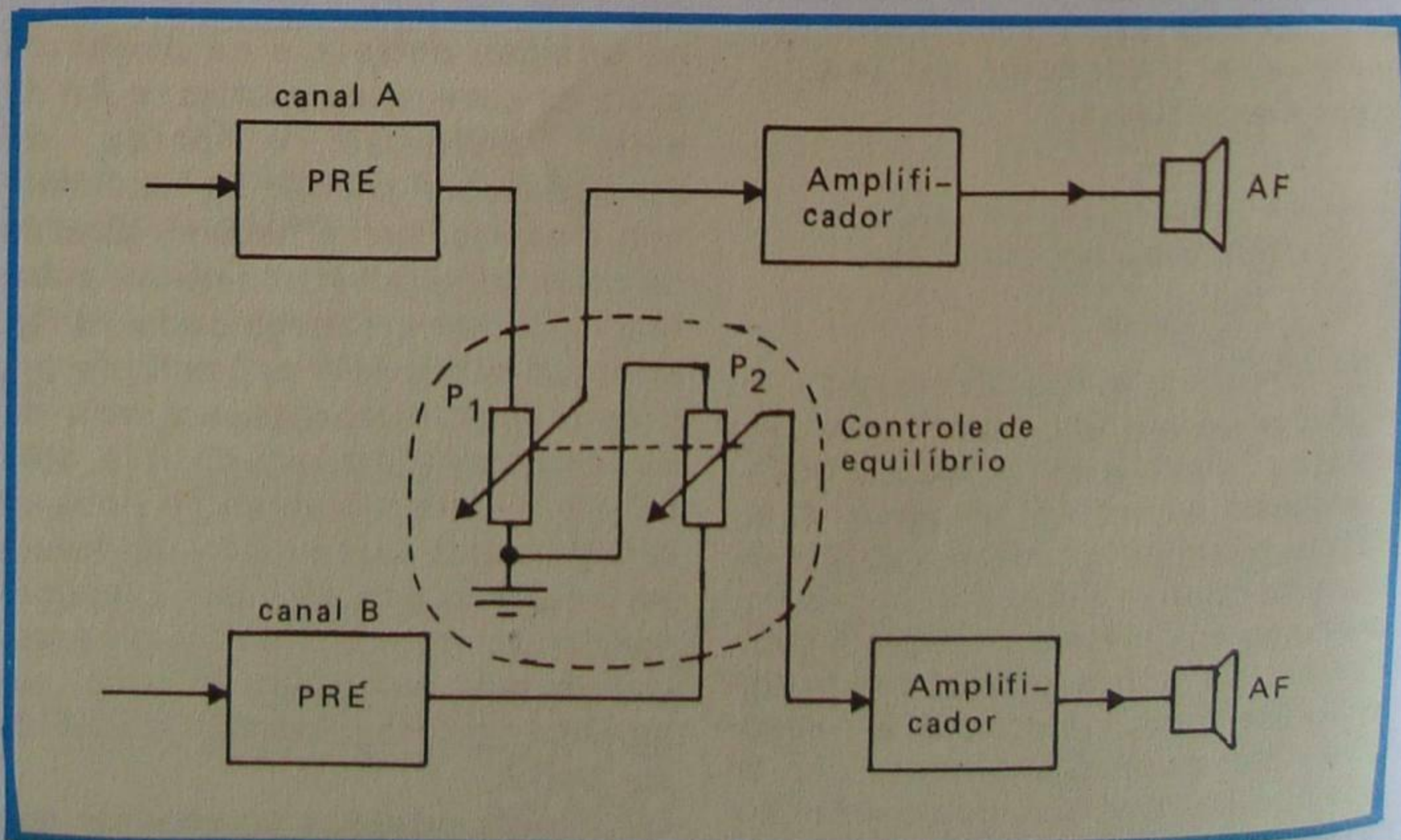



Figura 11 - Ligação do controle de equilíbrio.

ligação da cápsula fonocaptadora de qualquer maneira, pois uma das posições da chave dará a correta. O aluno sabe que, segundo as normas atuais, as informações do canal direito são gravadas na face exterior do sulco do disco, e as do esquerdo, na interior. Na reprodução, para que o efeito seja o mais próximo possível do programa original, é necessário obedecer à ordem dos canais, daí a utilidade que se atribui à chave inversora do sinal estéreo. Deve-se observar, entretanto, que se a cápsula não tiver as indicações de saída dos canais, o leigo não terá possibilidade de determiná-las, a não ser que possua um disco especial. Por esse motivo, nós, particularmente, achamos que a posição "reverse" só é útil porque permite ao ouvinte verificar "de

Figura 12 - Controle de equilíbrio com potenciômetro simples.

Em nossas figuras, representamos o controle de equilíbrio entre o pré e o amplificador de potência; entretanto, ele pode estar situado antes do pré (entrada dos canais) e entre o pré e o circuito de tonalidade. É uma questão de gosto do projetista, embora a colocação do controle na entrada dos canais não seja recomendável, em razão da tensão de ruído provocada pela excursão do contato móvel. O controle de equilíbrio costuma ser indicado por "balance" ou controle de balanceio.

b) Seletor de sistema

O equipamento estereofônico deve reproduzir também os discos monofônicos. Embora não seja absolutamente necessário, é conveniente prover o amplificador de uma chave seletora que permita a escolha do sistema de reprodução desejado. O seletor de sistema pode apresentar, no máximo, as seguintes combinações:

1ª) Estéreo

Nesta posição, os dois canais atuam separadamente e a reprodução é estereofônica.

2ª) Estéreo invertido

Aqui são invertidas as entradas, isto é, o sinal do canal A é introduzido no amplificador do canal B, e o sinal do canal B, no amplificador do canal A. Com esse expediente é possível a

Figura 13 - Esquema de ligação de um seletor de sistema.

ouvido" se os dois canais respondem igualmente aos dois sinais, e também permite escolher aquele no qual determinados efeitos da gravação saem mais agradáveis.

3ª) Mono (L + R ou A + B)

Esta posição permite que tanto o disco estereofônico como o monofônico sejam reproduzidos em mono. É claro que reproduzir o disco estéreo em mono é um contra-senso, mas serve principalmente em caso de demonstração para ressaltar a diferença dos dois sistemas. Nos painéis dos amplificadores, a posição monofônica costuma ser indicada por mono ou A + B (canal A + canal B), ou ainda por L + R, que significa esquerdo (left) mais direito (right).

Nesta posição, as duas saídas dos pré-amplificadores são ligadas em paralelo e introduzidas nas entradas dos amplificadores, que também estão em paralelo.

Pode-se prever também a possibilidade de introduzir o sinal mono separadamente, em cada canal. Neste caso, têm-se as posições:

4ª) A (L)

Indica que o sinal está sendo reproduzido somente pelo canal A ou esquerdo (left).

5ª) B (R)

Significa que o sinal mono está sendo reproduzido pelo canal B ou direito (right).

A seleção do sistema pode ser feita por chaves do tipo rotativo ou lineares. Quando o equipamento estereofônico é fabricado em série, nas grandes indústrias, são projetadas chaves especiais para as posições desejadas. No caso de montagem de amador, como a do técnico comum que pretenda construir seu próprio equipamento, é necessário utilizar as chaves padronizadas existentes no mercado. Na **figura 13**, mostramos como ligar uma chave comum de 4 pólos por 5 posições para cumprir todas as funções descritas. Assim, na posição indicada por S, a reprodução é estereofônica; na posição indicada por R, é estereofônica invertida; em A + B é monofônica reproduzida pelos dois canais; em A é monofônica reproduzida pelo canal esquedo e, em B, monofônica reproduzida pelo canal direito.

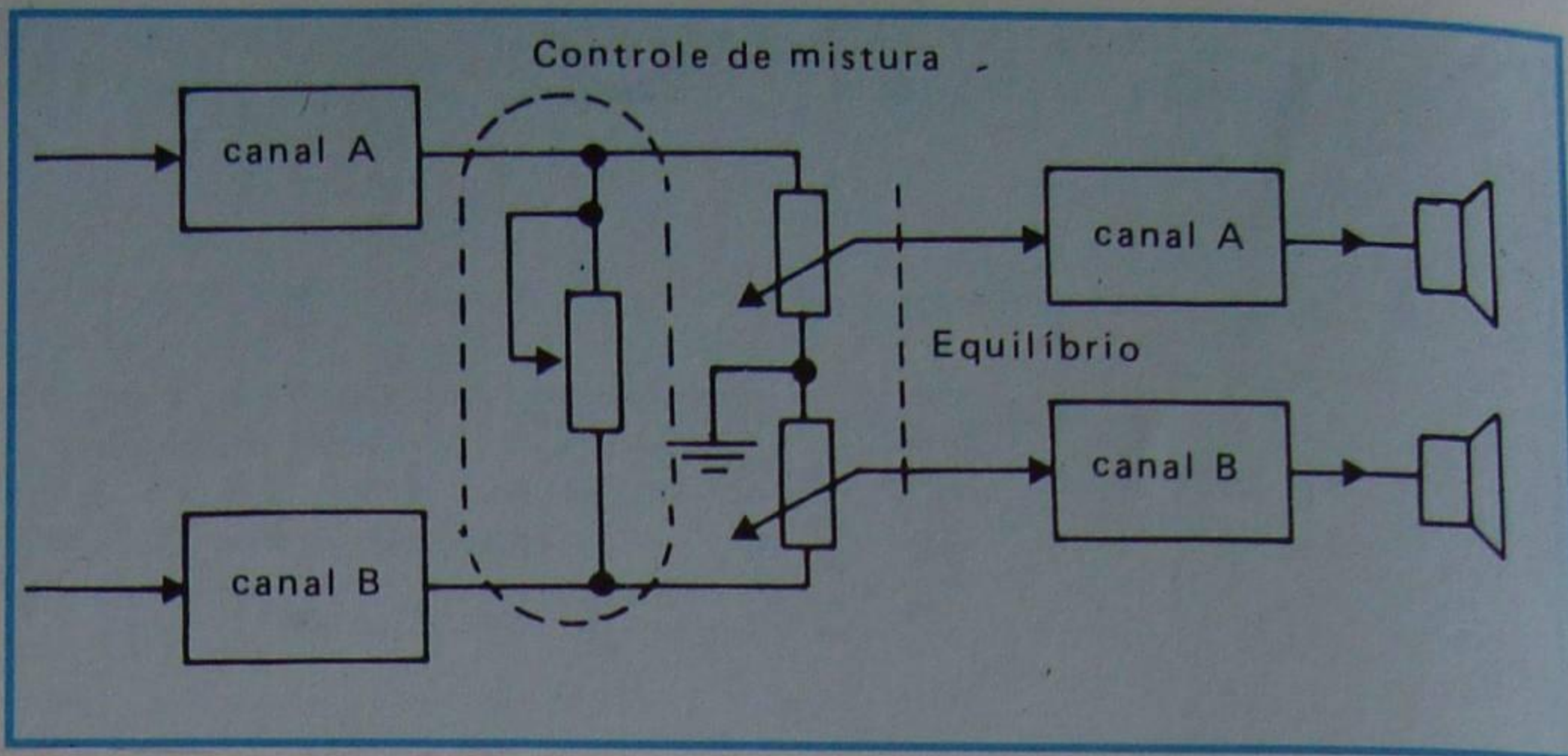



Figura 14 - Controle misturador.

Nessa figura, o aluno deve notar que os sinais são retirados dos potenciômetros de volume e que o controle de equilíbrio somente atua nas posições S (stereo) e R (reverse).

O seletor de sistema costuma ser indicado por modo ou "mode".

c) Misturador

O controle misturador, que não é muito comum nos equipamentos comerciais, tem por função misturar os dois sinais em determinadas proporções, com a finalidade de reduzir a separação entre canais, visando corrigir os efeitos de certos discos onde há predominância excessiva de efeitos sonoros em um canal.

A mistura geralmente é feita ligando-se um potenciômetro em paralelo com as duas saídas, como mostramos na **figura 14**.

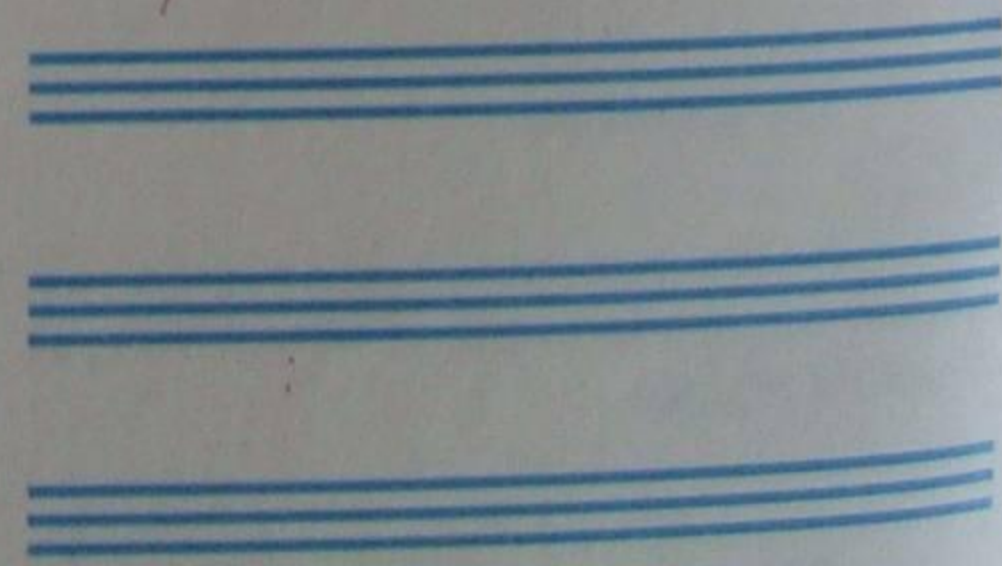
Nos amplificadores mais modestos, que não dispõem de chave de modo, o controle de mistura servirá para a reprodução monofônica, pois, quando ele está totalmente fechado (veja a figura 14), os dois sinais ficam em paralelo.

Muitas vezes o controle de mistura é chamado de controle de separação, denominação esta não muito correta.

Estes são, portanto, os controles mais freqüentes nos amplificadores estereofônicos, acrescidos, como afirmamos, de todos os comuns dos amplificadores monocanais. Certamente, nos equipamentos altamente sofisticados, outros existirão, mas suas funções são sempre descritas nos folhetos que acompanham o equipamento.

O aluno, em sua vida profissional, quando tiver necessidade de construir equipamentos estereofônicos para clientes normais, deverá dotá-los dos controles estritamente necessários. A prática tem demonstrado que equipamentos com muitos recursos geralmente são utilizados com impropriedade, devido ao desconhecimento técnico (e mesmo ao comodismo) do usuário. (É claro que, no caso de equipamento destinado a profissionais, esta observação é inoportuna.)

A tendência atual é a de simplificar o manuseio de qualquer equipamento, de som ou não, embora isso quase sempre "complique" o circuito elétrico, uma vez que certos ajustes, que eram manuais, devam ser conseguidos automaticamente.

Na lição prática, apresentaremos alguns circuitos de amplificadores estereofônicos.

CURSO DE ELETRÔNICA BÁSICA RÁDIO-TV
19ª LIÇÃO TEÓRICA
ESTEREOFONIA

Daremos ao aluno, nesta lição, alguns exemplos de amplificadores estereofônicos transistorizados. Como se observou na lição teórica, e o aluno confirmará nesta, que os amplificadores estereofônicos nada mais são que o agrupamento de dois amplificadores monofônicos acrescidos de dois ou mais controles adicionais e de uma cápsula fonocaptadora especial. O equipamento se completa com o toca-disco e o sistema de auto-falantes com as respectivas caixas acústicas.

Nesta lição, trataremos somente dos amplificadores, já que os alto-falantes e as caixas acústicas foram estudados em lições anteriores.

I – Amplificadores completos transistorizados

Voltamos a afirmar que o desenvolvimento dos transistores é tão rápido e as características dos novos produtos são quase sempre tão mais eficientes com relação às dos precedentes que se torna difícil citar valores típicos para os componentes dos circuitos transistorizados. Por esse motivo, os valores de resistores, capacitores, tensão de alimentação etc., mostrados em nossos circuitos, somente são válidos para os transistores lá indicados.

Dada a grande rapidez com que os transistores saem da linha de fabricação, nada garante que o aluno possa encontrá-los, se se dipuser a montar um dos circuitos. Portanto, o aluno deve encarar os diagramas como exemplos de configuração, e não como exemplos de valores típicos. Isto posto, passemos aos circuitos.

1º Circuito

Na **figura 15,** apresentamos o esquema de um amplificador estereofônico de 25 W por canal, de ótimo desempenho, circuito convencional e montagem relativamente simples.

1 - Pré - amplificadores

O pré-amplificador foi projetado para cinco entradas, a saber; fonocaptador magnético, fonocaptador piezoelétrico, microfone e duas entradas auxiliares, sendo que a uma delas se pode ligar um sintonizador de FM e à outra, um toca-fita.

A equalização é conseguida por realimentação seletiva, para as entradas de fonocaptador magnético e piezoelétrico, uma vez que neste último caso o fonocaptador atua por "velocidade", devido à baixa carga de saída. Nas demais posições, a realimentação é linear.

Os controles de tonalidades são do tipo "Baxandall".

O controle de equilíbrio é ligado à saída do pré-amplificador.

2 - Amplificador

O estágio amplificador de potência é de determinação simples, ou seja, sem transformador de saída. A excitação dos transistores de saída é feita por um par complementar, que atua como inversor de fase.

O transitor T_5 está submetido a uma forte realimentação de corrente contínua, o que permite manter constante a tensão do ponto A, quando varia a temperatura.

A estabilização do ponto de funcionamento dos transistores defasadores (par complementar) é conseguida pelo transistor T_7 em lugar dos habituais diodos ou termistores de circuitos semelhantes. Com transistor, consegue-se estabilização mais eficiente. O resistor variável ligado à base de T_7 permite regular a corrente de repouso do estágio de saída em cerca de 40 mA, a fim de eliminar a distorção cruzada (cross-over).

A carga é um alto-falante de 8 Ω, sobre o qual se garante potência de 25 W entre 20 Hz e 20 KHz.

3 - Desempenho

O desempenho do conjunto pode ser resumido como mostramos a seguir, o que autoriza a afirmar que é de excelente qualidade.

a) do pré-amplificador

Sensibilidade

Fonocaptador magnético	3 mV
Fonocaptador piezoelétrico	30 mV
Entrada 3	20 mV
Entrada 4	200 mV
Microfone	1,5 mV

Impedância da entrada

Fonocaptador magnético	50 KΩ
Fonocaptador piezoelétrico	11 KΩ
Entrada 3	70 KΩ
Entrada 4	700 KΩ
Microfone	10 KΩ

A tensão de saída é de 0,3 V.

A atuação dos controles de tonalidades pode ser julgada pela observação das curvas da **figura 16**.

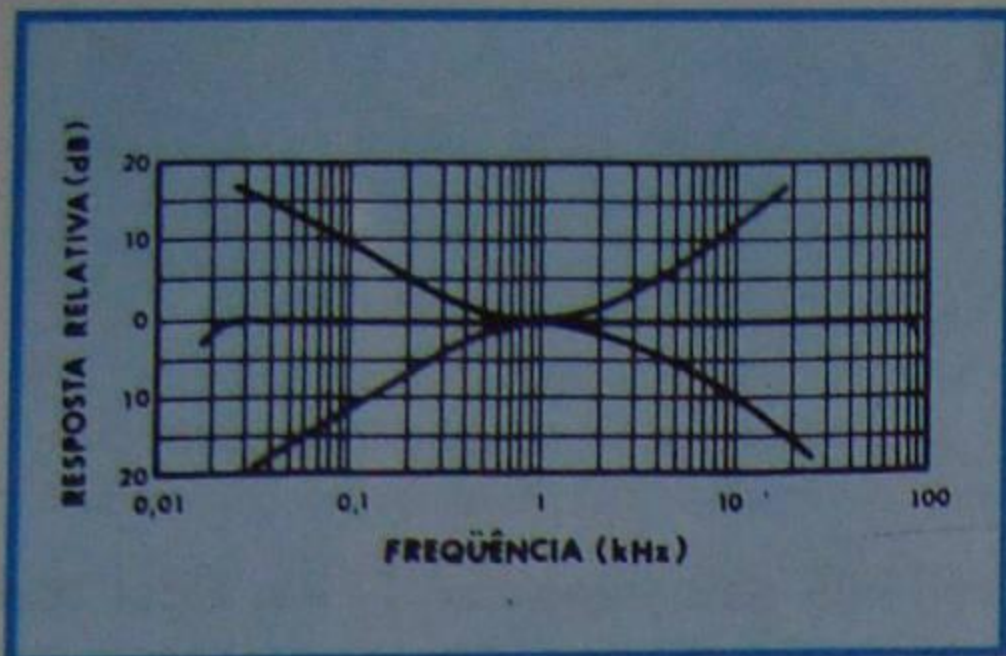



Figura 16 - Gráfico da atuação dos controles de tonalidade.

A resposta em freqüência é linear desde 20 Hz até cerca de 100 KHz.

A taxa de distorção harmônica é menor que 0,1% na freqüência de 1 KHz.

O nível de ruído é bastante baixo, atingindo cerca de 60 dB para a saída de 300 mV.

b) do amplificador

Potência de saída....................25W

Resistência de carga .... 8 Ω a 1 KHz

Sensibilidade...............0,3 V para saída de 25 W

Impedância de entrada............100 KΩ

Faixa de passagem.................12 Hz a 180 KHz a -1 dB

Distorção harmônica........... menor que 0,2% a 25 W em 1 KHz

Consumo a plena potência (25 W) ......0,8 A

Observações:

1ª) A fonte de tensão deverá fornecer 50 V com máximo consumo. O ideal seria utilizar uma fonte regulada. Como isso pode encarecer o conjunto, é perfeitamente possível o emprego de fonte retificadora de tensão em ponte, como a indicada na figura. Essa fonte deverá fornecer 60 V em vazio, quando não se aplica nenhum sinal ao amplificador. Para isso basta que o secundário do transformador forneça 50 V. A corrente máxima é de cerca de 800 mA. Como se trata de dois canais idênticos, é necessário que a corrente do secundário seja de 2 A, no mínimo, para que o transformador funcione com alguma folga.

2ª) Os transistores de potência deverão ser montados sobre radiadores especiais. Na falta destes, pode ser usada uma placa de alumínio de 2 mm de espessura com 60 cm^2 de área para cada transistor.

3ª) O Trimpot de 1 K ligado ao transistor T_7 deve ser ajustado, para que a corrente de repouso do estágio de saída seja de 40 mA, quando não se aplica sinal à entrada, ou seja, com os controles totalmente fechados.

II - Estereofonia Simulada

À primeira vista aparenta ser um contra-senso a simulação de estereofonia, visto ter-se em mãos a estereofonia propriamente dita.

Realmente, é praticamente impossível recriar uma estereofonia a partir de um programa (fonte sonora) monofônico, entretanto, pode-se gravar um efeito simulador de estereofonia, introduzindo-se pequenos "retardos de tempo" entre os canais.

Quanto aos "retardos de tempo", estes não devem ser introduzidos em toda a faixa de áudio, englobando todos os sinais, pois neste caso ter-se-ia realçado mais propriamente o "eco". Desta maneira, um pequeno retardo de tempo, tipicamente da ordem de 500 µs, é introduzido somente em uma estreita e restrita faixa do sinal de áudio; o resultado obtido é um efeito ao qual dá-se o nome de "pseudo-estéreo", o qual possui grande utilidade em sonorização, como o aluno verá em momento oportuno.

Atualmente, existem inúmeros meios de obter-se o efeito pseudo-estéreo, porém o mais eficaz consiste no emprego de circuitos integrados dedicados, dos quais o mais popular é o de código TDA 3810.

O circuito de utilização deste circuito integrado como simulador de estereofonia pode ser visto na **figura 17A**.

O sinal de áudio é enviado simultaneamente aos terminais de números 2 e 17 do circuito integrado, sendo tais terminais as entradas de amplificadores casadores de impedância.

As saídas destes amplificadores são acessíveis pelos terminais 3 e 16, respectivamente; temos, portanto, o sinal de áudio nestes terminais.

Este sinal de áudio, que ainda é monofônico, deverá ser conduzido às etapas seguintes. Através de um acoplamento resistivo-capacitivo entre os terminais 3 e 5, o sinal de áudio é conduzido às etapas seguintes, até alcançar a saída esquerda: o resistor interligado entre os terminais 5 e 6 é um resistor de realimentação negativa, o qual determina o ganho total desta etapa.

Paralelamente a isto, o sinal obtido no terminal 16 é enviado, simultaneamente, a dois filtros em T; este filtro duplo T, externo ao circuito integrado, cria uma deênfase da ordem de 500 µs, ou seja, uma espécie de retardo em uma determinada faixa de freqüências.

Este sinal é então conduzido ao terminal 14 do circuito integrado, prosseguindo assim sua amplificação pelas etapas seguintes, sendo que, após amplificado, o mesmo é retirado do circuito integrado pelo terminal de número 13.

O resistor que interliga os terminais 13 e 14 também é um resistor de realimentação negativa, sendo que seu valor determina o ganho total deste canal.

Ainda temos um filtro conectado entre os terminais 6 e 14 do TDA 3810, o qual permite que certas freqüências atinjam o canal direito atenuando-as do sinal de áudio deste canal.

Os sinais dos canais direito e esquerdo são retirados, por intermédio de capacitores de desacoplamento, dos terminais 6 e 13, respectivamente; tais sinais encontram-se em condições próprias para ser amplificados por qualquer amplificador estereofônico, similar aos que já foram vistos pelo aluno.

Caso o aluno se interesse em constatar a eficácia de tal efeito, sugerimos que seja realizada a montagem do circuito apresentado, cuja relação de materiais constam na **Tabela I**.

Considerando-se que trata-se

de uma montagem que faz uso de um circuito integrado, a maneira mais viável de realizá-la é a que faz uso de placa de circuito impresso com lay-out específico, sendo que a nossa sugestão de placa pode ser apreciada nas **figuras 17B** e **17C**, onde podem ser vistos o lado do cobre e a face dos componentes respectivamente.

Figura 17 - Circuito e lay-out de placa do simulador de estereofonia.

III - Estereofonia Espacial

Como já citamos na lição teórica, uma importante característica da estereofonia consiste na separação entre canais, a qual caracteriza o grau de influência mútua entre os canais, ou seja, teoricamente o sinal de um canal não deve ser reproduzido pelo outro e vice-versa. Porém, nos sistemas reais sempre existe uma interação entre ambos os canais, devido às características inerentes ao processo.

Isto é facilmente compreensível se recordarmo-nos de que, nas gravações magnéticas (fitas), a mesma largura de trilha, que era empregada para gravações monofônicas, é utilizada para gravações estereofônicas, dificultando uma separação efetiva entre os canais, ocorrendo fato similar com o processo de reprodução de discos, onde a informação de cada canal está contida nas paredes laterais do mesmo sulco exigindo do sistema de agulha da cápsula uma eficiente disposição dos transdutores para a realização adequada da separação dos canais.

Apesar de incorreta a denominação, pois a palavra "estéreo" significa, "volume de espaço", a estereofonia espacial consiste em um efeito criado a partir de um sinal original estéreo, o qual proporciona um "alargamento" na distribuição dos canais.

Por intermédio de artifícios eletrônicos, uma informação estereofônica pode sofrer uma "ampliação" de sua base, resultando em uma acústica que, psico-auditivamente, possui uma melhor definição entre canais e uma variação de profundidade mais acentuada, o que proporciona ao ouvinte uma melhor sensação de "espaço" e de "massa" (densidade) ao som.

Esta sensação é conseguida pela "atenuação", em ambos os canais, dos sinais específicos a cada canal. Isto é conseguido através da ação eletrônica, que interliga, por meio de resistores, entradas inversoras de amplificadores diferenciais, os quais realizam, em cada canal, a "subtração" do sinal comum a ambos os canais.

Uma maneira prática de realizar-se o efeito de estéreo espacial consiste no emprego de circuitos integrados específicos para a função, dos quais destacamos, novamente, o TDA 3810, cujo circuito de aplicação pode ser visto na **figura 18**. Esta aplicação faz uso do circuito TDA 3810 tanto para a simulação de estéreo, já vista anteriormente, assim como para a criação do efeito "estéreo espacial", cujo princípio de funcionamento foi visto a pouco.

A seleção de modo de operação é feita por intermédio de uma tensão de referência nos terminais de números 12 e 11, os quais possibilitam o funcionamento do circuito apresentado em uma das três situações mostradas na Tabela II, onde indicamos também o nível de tensão necessário a cada terminal.

Na **figura 19** apresentamos

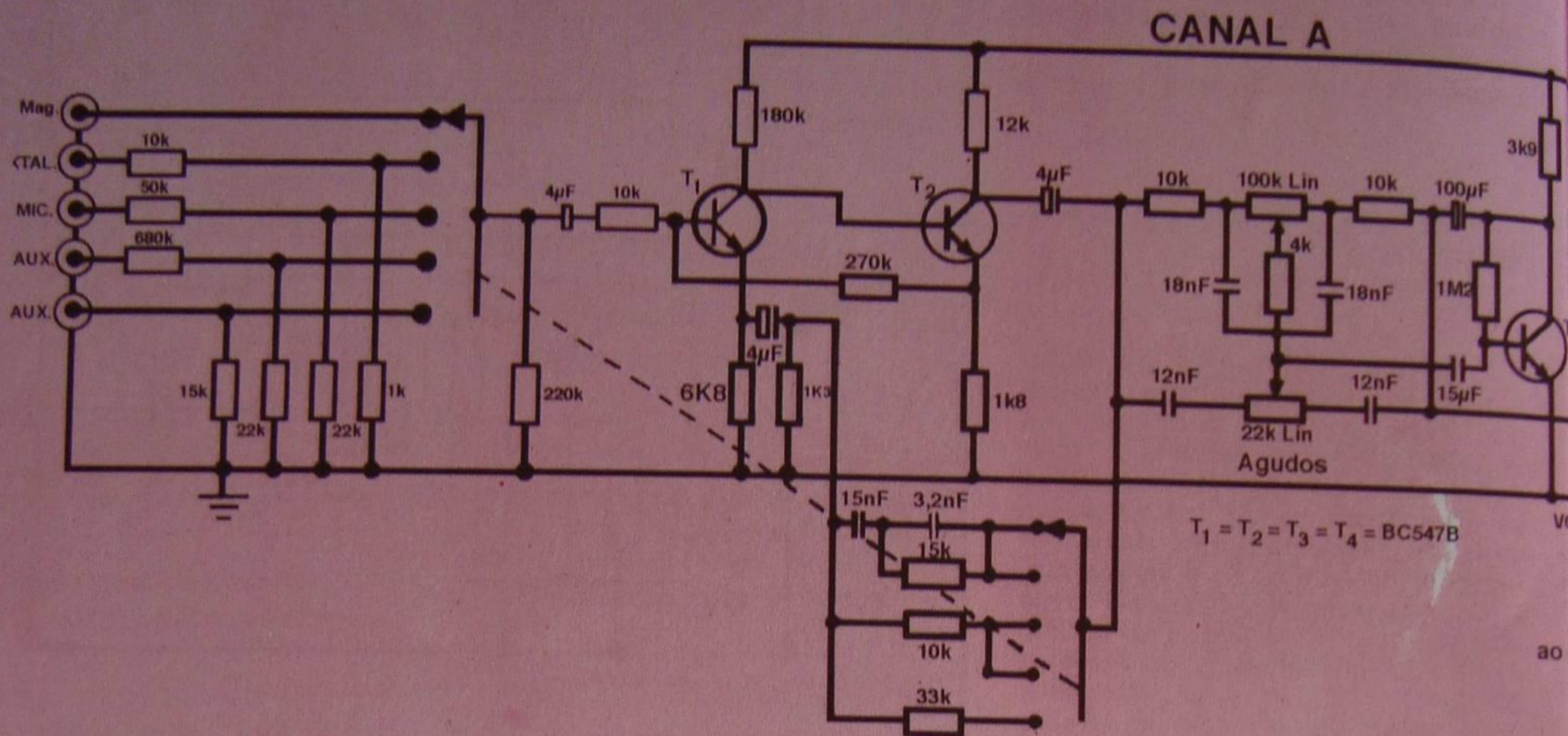



Figura 15 - Circuito completo de um amplificador.

uma configuração em blocos interna ao circuito integrado para uma plena compreensão de seu princípio de funcionamento. Por esta figura, o único bloco merecedor de maiores comentários é o denominado "logic", o qual realiza a interligação entre os amplificadores diferenciais, internos ao TDA 3810, de maneira adequada a cada modo de operação.

Trata-se de um circuito digital de chaveamento, o qual trabalha com apenas dois níveis distintos de tensão: alta e baixa.

Considera-se como nível alto a tensão de valor igual ou próximo à Vcc, enquanto que o nível baixo é a tensão de valor próximo a zero Volt.

Estas chaves também comandam os blocos "LED driver's", os quais constituem-se de simples amplificadores CC, cuja finalidade é a de alimentar os LED's indicadores, conectados aos terminais 7 e 8.

Quanto ao princípio de funcionamento do circuito apresentado, o mesmo será visto apenas para a função "Estéreo espacial", pois o mesmo já foi analisado referente à operação em estéreo simulado.

Operação Estéreo Espacial: O sinal de áudio, originalmente estereofônico, é introduzido aos amplificadores de entrada pelos terminais 2 e 17; respectivamente canais esquerdo e direito.

Dos amplificadores isoladores, os sinais são enviados aos amplificadores diferenciais, cujas entradas inversoras, acessíveis pelos terminais 4 e 15 do circuito integrado, não encontra-se em um potencial fixo de referência, porém em um potencial de referência variável, obtido por uma malha RC conectada às próprias saídas do circuito integrado. Esta interação entre canais, realimentada para as entradas inversoras, faz com que a referência de tensão destas entradas seja uma parcela do sinal de áudio.

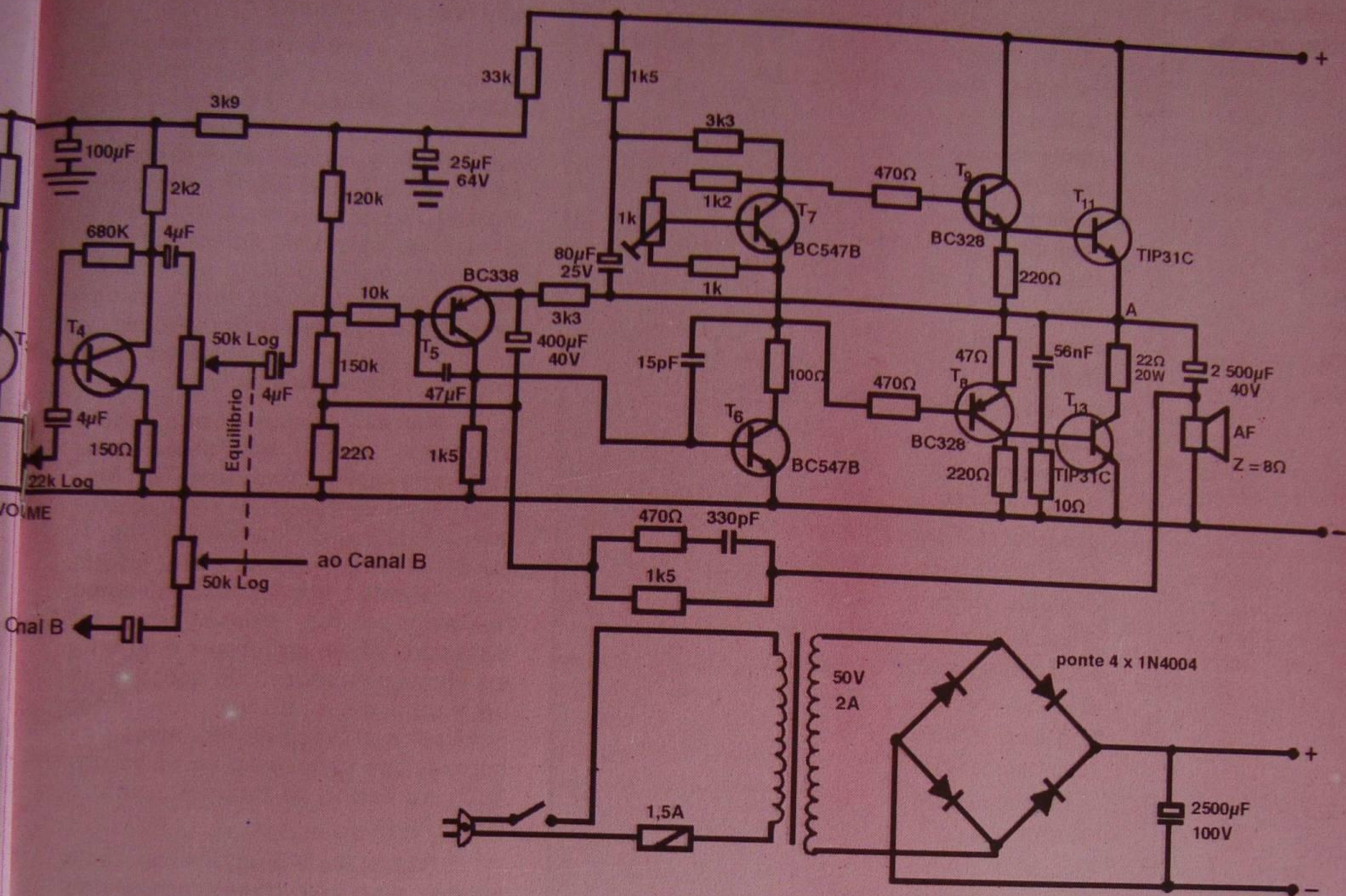
Um amplificador diferencial amplifica as "diferenças" de tensões presentes entre suas entradas, o que é constatado pela fórmula:

$$S_o = G \cdot (S_{ni} - S_i)$$

onde:

S_o = Sinal de saída

G = ganho do estágio

S_{ni} = Sinal na entrada não-inversora

S_i = Sinal na entrada inversora

obtém-se um "alargamento" da base do sinal pela redução parcial e seletiva em freqüência (devido à presença de C_{20}) do sinal que é comum aos dois canais e conseqüente amplificação dos sinais que são específicos a cada canal.

IV – Quadrafonia

As gravações estereofônicas são satisfatórias, quando planejadas para produzir a ilusão de que os instrumentos estão na mesma sala que o ouvinte. Porém, o sucesso desse efeito exige que se elimine da gravação os efeitos acústicos do local de gravação, pois, em caso contrário, a presença dessas reverberações, sobrepostas àquelas da própria sala de audição, fariam o ouvinte perceber de imediato a artificialidade da apresentação; além disso, a fonte aparente de som fica limitada à região localizada entre os dois sistemas de alto-falantes.

Por outro lado, sendo possível a separação adequada dos sitemas de alto-falantes, a distância entre eles raramente apresenta problemas, nos conjuntos estéreo. As limitações surgem se quisermos gravar ou reproduzir um campo acústico, ou seja, se desejarmos recriar, para o ouvinte, as sensações produzidas ao se presenciar a verdadeira apresentação, numa sala de concertos ou audições. As propriedades acústicas de qualquer sala ou auditório são o resultado do efeito total dos retardos de tempo, amplitudes, direções e espectros de freqüências das reflexões do som original, **da form**a como chegam ao ouvinte, por meio das paredes e objetos do local. Assim, o campo acústico em torno dos ouvintes é uma região onde não apenas o nível do som, mas também a direção da fonte de som está variando constantemente.

A quadrafonia procura reproduzir, do modo mais fácil possível, em qualquer ambiente, os efeitos sonoros de uma sala de concertos ou audições, circundando completamente o ouvinte. Resumindo, trata-se de uma técnica de gravação, transmissão e reprodução que permite que os sons ou a música sejam apresentados ao ouvinte de qualquer direção, no plano horizontal. Para isso, faz-se o uso de 4 canais, isto significando a utilização de 4 caixas acústicas, no mínimo, e 4 amplificadores, mas, nem sempre se faz necessária a utilização de 4 canais de transmissão

Código dos componentes	Especificação dos Componentes
R1	Resistor ....15K Ω x 1/8W
R2	Resistor ....10K Ω x 1/8W
R3	Resistor ....22K Ω x 1/8W
R4	Resistor ....22K Ω x 1/8W
R5	Resistor ....15K Ω x 1/8W
R6	Resistor ....100K Ω x 1/8W
R7	Resistor ....10K Ω x 1/8W
R8	Resistor ....10K Ω x 1/8W
R9	Resistor ....15K Ω x 1/8W
R10	Resistor ....22K Ω x 1/8W
C1	Capacitor eletrolítico 220 μF/16V
C2	Capacitor eletrolítico 4,7 μF/16V
C3	Capacitor cerâmico 220 nF
C4	Capacitor cerâmico 10 nF
C5	Capacitor cerâmico 10 nF
C6	Capacitor cerâmico 22 nF
C7	Capacitor cerâmico 220 nF
C8	Capacitor eletrolítico 47μF/16V
C9	Capacitor eletrolítco 100 μF/16V
C10	Capacitor cerâmico 10 nF
C11	Capacitor cerâmico 10 nF
C12	Capacitor cerâmico 100 nF
C13	Capacitor cerâmico 100 nF
IC-01	TDA 3810
	Plugs RCA-macho
	Fio mono blindado
	Fio vermelho
	Fio preto
	Solda
	placa de CI devidamente confeccionada.

Tabela I - Relação de materiais para montagem do simulador de estéreo.

(ou canais gravados) como veremos posteriormente.

Veja na **figura 20** as ilustrações das diferenças fundamentais entre os vários sistemas de reprodução de som, desde o monofônico até o quadrafônico.

Em (a) podemos ver que o sistema monofônico é capaz de produzir apenas uma sucessão linear de fontes de som, uma após a outra.

O sistema estéreo (b), mesmo sendo melhor, reproduz somente um plano de som, cuja borda mais próxima ao ouvinte é formada por uma linha que une os dois alto-falantes.

Na prática, os sons que se originam fora dessa área podem ser gravados utilizando-se microfones direcionais ou omnidirecionais (capazes de captar sons em qualquer direção), de forma a misturá-los com os outros. Tais sons, porém, não podem ser gravados de forma a poderem ser recuperados corretamente pelo ouvinte, no que se refere à direção. Nenhuma combinação de sistemas de alto-falantes têm capacidade de apresentá-los corretamente, num conjunto estéreo.

Para ser possível representar as fontes de som ou suas imagens (reflexões) em todas as direções, em relação ao ouvinte, são necessários mais de dois elementos (microfones na gravação e alto-falantes na reprodução), para que o ouvinte seja circundado pelo som. Queremos com isso dizer que é preciso uma distribuição de pontos em torno do ouvinte, formando uma figura fechada, e os dois pontos do estéreo não fornecendo mais de uma linha.

Por sua vez, os quatro canais oferecem maior resolução que sistemas mais complexos; porém, possuem a vantagem da relativa economia e da possibilidade de se utilizar pares de amplificadores estéreo em experimentos quadrafônicos, como ilustrado em (c). Dessa forma, tal sistema é capaz de proporcionar uma excelente reprodução da acústica de uma sala de audições, por tornar possível a gravação e reprodução de informações direcionais ao longo dos 360° ao redor do ouvinte - veja a figura 20 (d).

Viável seria perguntar-se, nesta altura, por que o nosso sistema ouvido/cérebro é capaz de funcionar como um mecanismo sensor de direção, empregando apenas dois detetores (os ouvidos), quando é necessário utilizar pelo menos três detetores para obter a mesma informação eletronicamente. Isso é justificado parcialmente, pelo fato de nossos dois detetores biológicos estarem sendo constantemente deslocados, devido a ligeiros movimentos de cabeça, fazendo com que eles possam perceber sons de mais de duas fontes fixas.

MODO	Pino 11	Pino 12	LED Pino 7	LED Pino 8
Mono/ Pseudo Estéreo	Alto	Baixo	Apagado	Acesso
Espacial	Alto	Alto	Acesso	Apagado
Estéreo	Baixo	X	Apagado	Apagado

Tabela II - Tabela com o modo de operação do TDA 3810.

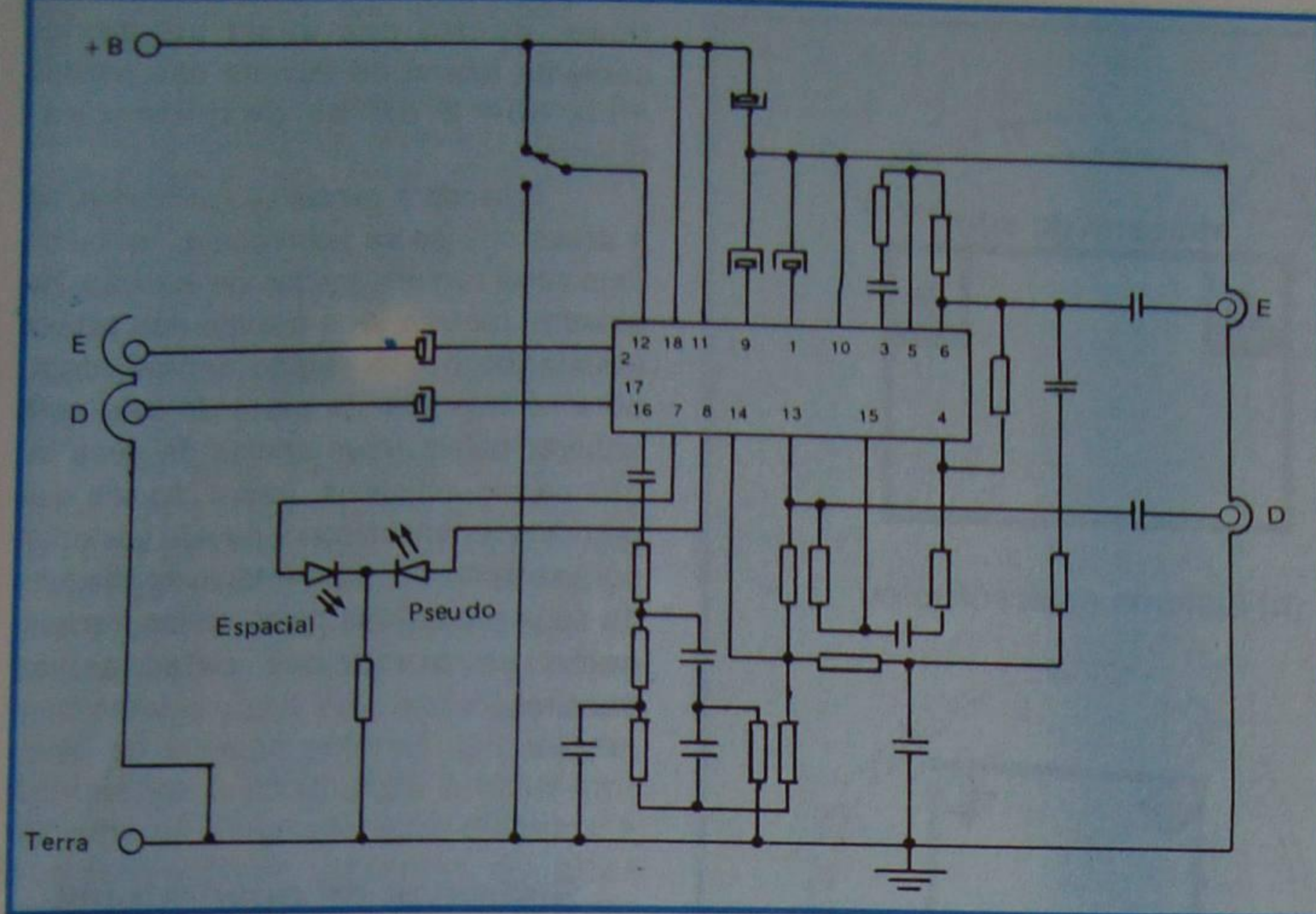



Figura 18 - Circuito do "estéreo espacial".

A utilização do conhecimento das propriedades de reverberação de uma sala de audições ou concertos, para separar artificialmente, com o auxílio de um computador digital, fitas de quatro canais que simulem os resultados que seriam obtidos ao se produzir sons em tal sala, é perfeitamente possível.

Neste caso, as técnicas de programação são bastante simples, sendo possível alterar dados resultantes de salas existentes para recriar efeitos inteiramente novos, impossíveis até de serem conseguidos arquitetonicamente.

O sistema quadrafônico em fitas magnéticas

Sem dúvida um dos aspectos mais vantajosos da quadrafonia, está no fato de que, já há bastante tempo, encontram-se disponíveis todos os meios necessários para sua aplicação, destacando-se entre eles o gravador de múltiplas pistas, existentes em vários estúdios profissionais, com a característica de poderem serem adaptados para gravações de quatro canais.

Contudo, as fitas apresentam um problema não verificado em discos de 4 canais. Este problema ocorre quando informações importantes são registradas em todos os quatro canais, fazendo com que o possuidor de equipamento estéreo ouça apenas metade da apresentação. Para que essa incompatibilidade seja evitada, tornando as gravações quadrafônicas acessíveis inclusive àqueles que não possuem o aparelhamento adequado, é necessário misturar a informação contida nos canais traseiros com aquela dos canais dianteiros. Para isso, devem os sons ser gravados e reproduzidos com um sistema matricial duplo, semelhante ao utilizado em transmissões de FM por multiplex, processo que será visto em momento oportuno com maiores detalhes.

O sistema quadrafônico em discos

Em relação à quadrafonia em discos, foram aproveitados totalmente os equipamentos já usados na reprodução do estéreo, não só para facilitar a adaptação à quadrafonia, fazendo uso dos discos e toca-discos já existentes, como também para tornar os discos quadrafônicos compatíveis com os equipamentos estéreo. Assim, utilizou-se os dois canais ou sulcos normalmente

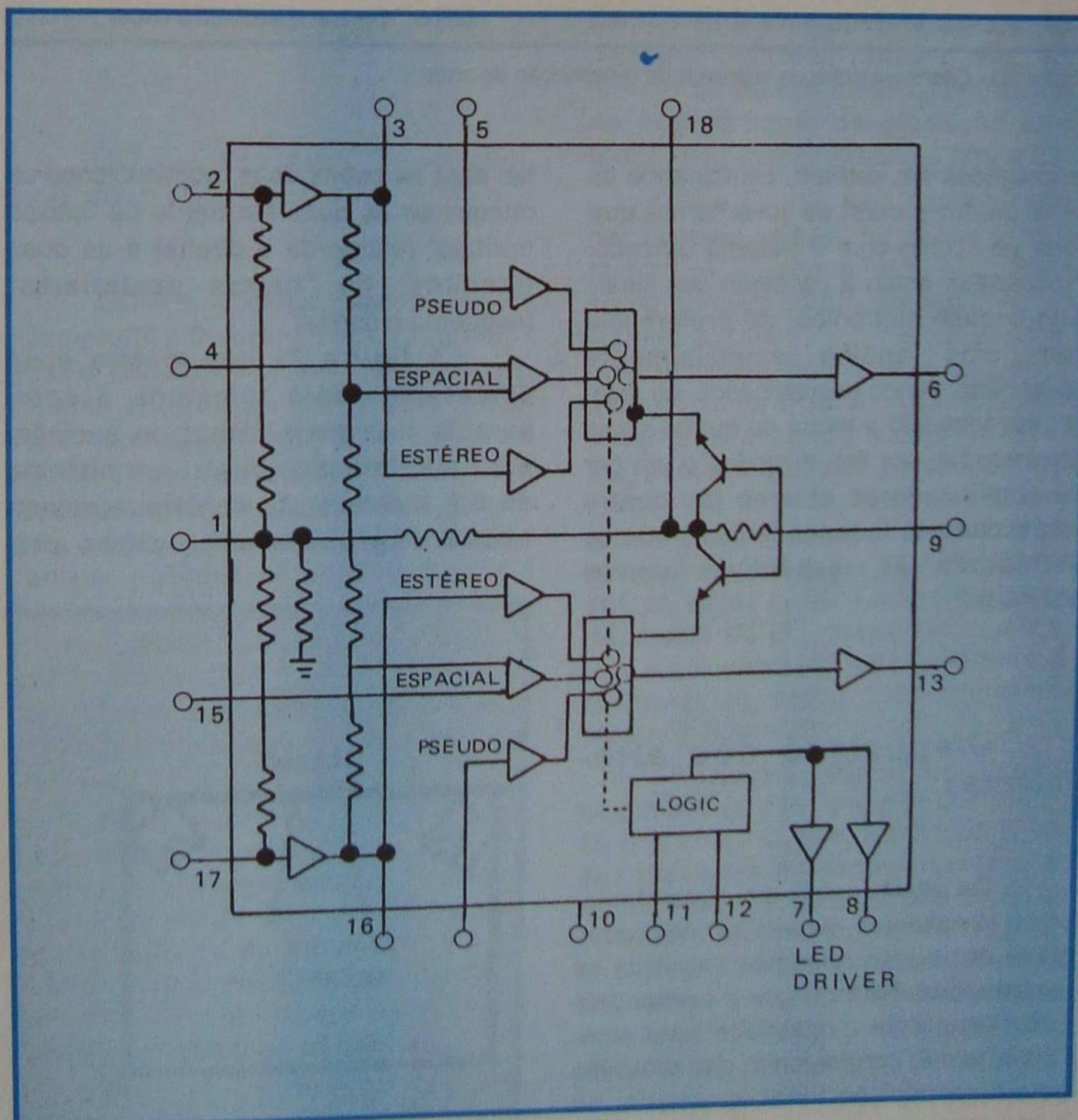



Figura 19 - Diagrama em blocos interno ao TDA 3810.

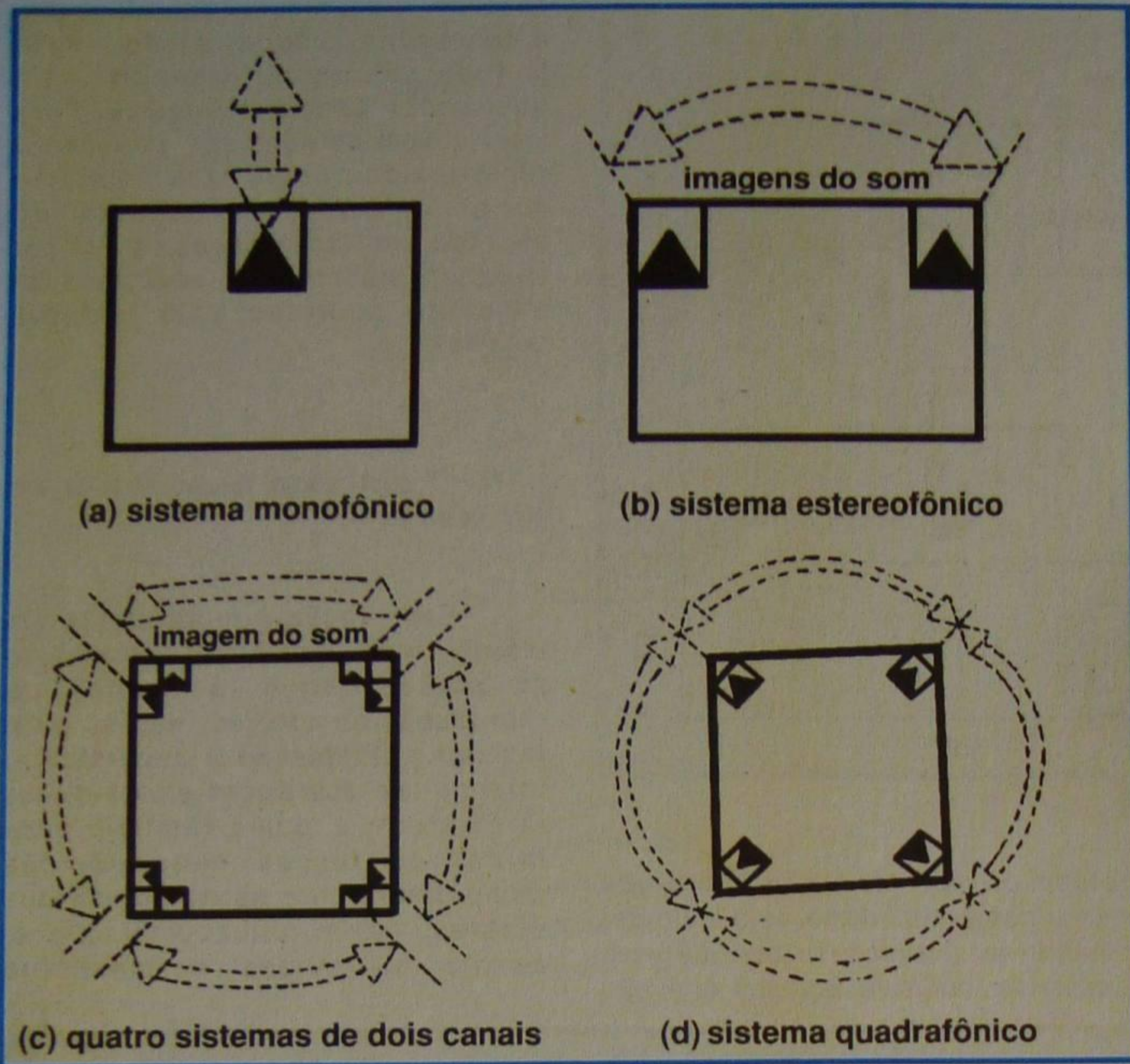



Figura 20 - Diferença entre os sistemas de reprodução de som.

empregados em estéreo, combinando os seus quatro sinais, de uma forma que varia de acordo com o sistema utilizado. Processa-se então a captação dos sinais pelo circuito eletrônico, de preferência com uma agulha especialmente desenhada, sendo decodificados, ou seja, recuperados sob a forma de quatro sinais separados e, por fim, enviados a um par de amplificadores estéreo (ou quatro amplificadores independentes), que os entregarão às respectivas caixas acústicas.

Disposição dos alto-falantes

Os alto-falantes em quadrafonia, como já sabemos, devem ser colocados numa disposição retangular, no local de audição, possibilitando que o ouvinte seja completamente circundado pelo som. Dessa forma, considerando que o ouvinte esteja na posição ideal de escuta, no centro da área rodeada pelas caixas acústicas, de frente para duas caixas e de costas para as outras duas, convencionou-se denominar as duas em frente de "caixas frontais" (esquerda e direita) e as duas traseiras, de "caixas posteriores" (esquerda e direita).

A **figura 21** nos mostra essa disposição. Nela tomamos a comparação das áreas ótimas de audição, para alto-falantes ideais, em sistema de 2 e 4 canais. As frontais representadas englobam as regiões críticas, dentro das quais um deslocamento lateral do ouvinte não produz mais que 2 dB de desbalanceamento.

Quando 4 canais são utilizados, as 4 áreas críticas se sobrepõem, formando uma zona comum, menor, de audição. No entanto, mesmo se o ouvinte não estiver localizado nessa região central ideal, nota-se que grande parte da sala está coberta pelas áreas ótimas de duas ou três caixas acústicas. Assim, aquele que permanecer encostado à parede posterior, por exemplo, vai receber tanto as imagens de sons produzidos pelas caixas frontais, como os produzidos pelas caixas traseiras.

Sistemas de quadrafonia

Após termos visto as características fundamentais do sistema quadrafônico, iremos agora fazer uma análise do sistema quadrafônico discreto CD-4, dos sistemas SQ, QS e também UMX.

Podemos de início, e de uma forma geral, estabelecer distinções existentes entre três diferentes tipos de sistemas:

a) a semi ou pseudo-quadrafonia;

b) a quadrafonia discreta com quatro canais independentes;

c) a quadrafonia que funciona

Figura 21 - Disposição dos alto-falantes para dois e quatro canais.

por intermédio de sistemas de matrizes.

O primeiro deles, a semi ou pseudo-quadrafonia, esta baseado na experiência de uma impressão espacial que pode melhorar a reprodução de uma música, não se importando, entretanto, com o correto posicionamento dos vários instrumentos utilizados na composição original.

De uma maneira simplista, podemos afirmar que o sistema de pseudo-quadrafonia consiste no emprego de um sistema estéreo convencional de recepção (disco ou fita) aliado a dois simuladores de estereofonia, cada qual acoplado a um canal do sistema estéreo. O conjunto finalmente é conduzido a dois amplificadores estereofônicos distintos e aos respectivos sistemas de alto-falantes. O conjunto é representado, em blocos, na **figura 22.**

Figura 22 - Diagrama em blocos de um sistema de pseudo-quadrafonia.

Conhecido como 2-2-4, este sistema utiliza, originalmente, dois canais de som, dois de transmissão e quatro de reprodução. Esses sistemas, por receberem os mais variados nomes comerciais, não representando numa análise mais profunda a verdadeira quadrafonia em si, deixam de merecer qualquer observação mais completa de nossa parte.

Na segunda situação, podemos dizer que um sistema quadrafônico discreto contém quatro canais diferentes, permanecendo separados por todo o circuito, da captação à reprodução do som.

Ele pode ser classificado como sendo um sistema 4-4-4, e um exemplo bastante significativo é o CD-4. Aqui, pode ser incluída, sem dúvida, uma transmissão experimental de rádio que utiliza dois transmissores de FM estéreo para um só programa.

Dentro da nossa classificação, temos finalmente a quadrafonia que funciona por intermédio de sistemas de matrizes (matriciais), baseada na mistura dos canais originais de informação; dessa forma, os quatro canais de gravação são combinados em dois outros, especialmente codificados. Por intermédio desses sistemas, os sinais quadrafônicos podem ser transportados por sistemas estéreos convencionais, e divididos posteriormente de novo em quatro canais, em seu destino, para serem reproduzidos pelos quatro alto-falantes. 4-2-4 é a classificação dada a este sistema. Podem ser enquadrados aqui os sistemas SQ e QS.

CD-4 - Sistema quadrafônico discreto

CD-4 é a forma simplificada de "Compatible Discrete Four Channel" - quatro canais discretos compatíveis, sistema este desenvolvido pela Japan Victor Company e pela RCA, nos anos 70. Esse sistema emprega multiplexação de freqüência, já que para serem adicionados outros dois canais, decidiu-se sobrepor sinais modulados em freqüência ao espectro convencional de áudio, de 15 KHz. Essa nova faixa de áudio foi adicionada aos canais esquerdo e direito, de maneira a originar um total de quatro canais discretos.

Para compatibilizar esse sistema com equipamentos estéreo, esses quatro canais não são gravados numa correspondência direta com as quatro caixas acústicas como se poderia supor. Na verdade, elas são convertidas em canais de soma e diferença dos sinais.

Vejamos as **figuras 23** e **24.** Nelas estão identificados os diagramas de bloco dos sistemas de gravação e reprodução, respectivamente, do sistema CD-4. As letras E, D, f e t, designam, respectivamente, esquerdo, direito, frente e trás, formando os quatro canais, distribuídos no equipamento de gravação, conforme está demonstrado na figura 23.

E_f e E_t são sinais combinados por simples adição, formando o sinal-soma $E_f + E_t$, enquanto $E_f - E_t$ origina-se da simples subtração algébrica dos mesmos sinais E_f e E_t e, depois, é utilizado para modular em freqüência, uma portadora de 30 KHz. Podemos notar que a banda passante desta portadora modulada está confinada entre 20 e 45 KHz, de forma assimétrica, já que a banda se estende a - 10 e a + 15 KHz. Formados os sinais soma e diferença do canal esquerdo (E), estes são combinados e gravados na parede interna da ranhura do disco, conforme nos mostra a figura 23.

Tratamento semelhante é dado aos sinais D_f e D_t, originando os sinais $D_f + D_t$ e $D_f - D_t$ que, combinados, vão ser gravados na parede externa da ranhura do disco. Definindo-se então os quatro canais dessa maneira, os quatro sinais originais (E_f, E_t, D_f e D_t) podem ser recuperados tão fielmente como se tivessem sido gravados diretamente.

Na figura 23 pode ser vista ainda, a localização das bandas ocupadas pelos sinais soma e diferença.

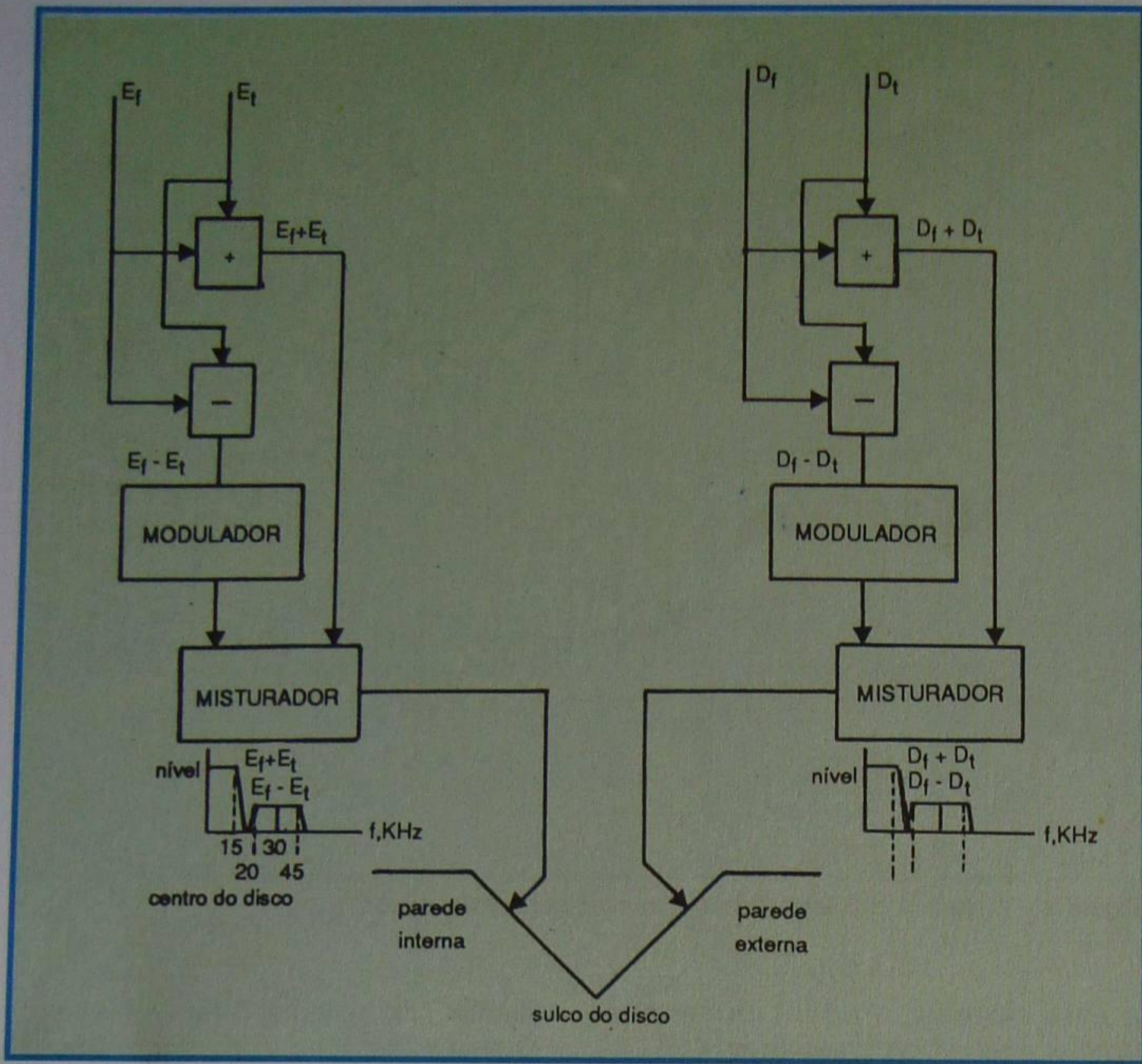



Figura 23 - Gravação de discos pelo sistema CD-4.

Na reprodução, uma combinação agulha/cápsula de alto desempenho vai captar os sinais direito e esquerdo, da mesma forma como seria feito em um sistema estéreo convencional. Observando a figura 24, podemos ver que os sinais soma e diferença são separados por meio de filtros, sendo que o sinal diferença é detetado por um demodulador FM.

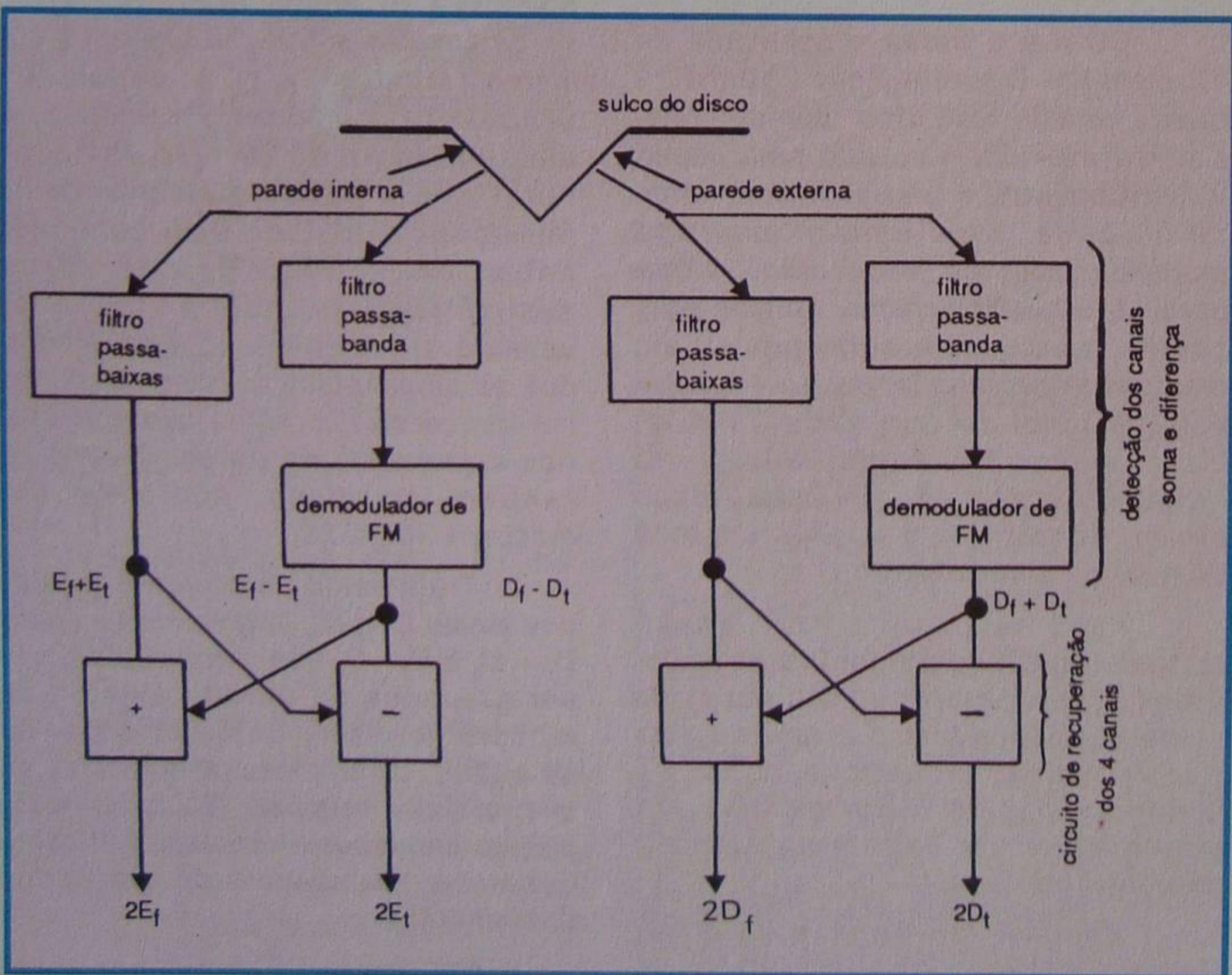



Figura 24 - Processo de reprodução pelo sistema CD-4.

A demodulação, normalmente, é efetuada por um "phase locked loop" (laço fechado por fase), face ao seu desempenho, com um mínimo de componentes indutivos e capacitivos.

O modo como os quatro canais são recuperados por meio de um tratamento adequado a que são submetidos os sinais soma e diferença, também pode ser visto na figura 24. Somando entre si os canais soma e diferença de cada canal, vamos obter o dobro do sinal frontal, enquanto o sinal traseiro é eliminado. Temos então:

$$(E_f + E_t) + (E_f - E_t) = 2E_f$$

Se, por outro lado, subtraímos os mesmos dois canais, obtemos o cancelamento do canal frontal e o dobro do canal traseiro. Então:

$$(E_f + E_t) - (E_f - E_t) = 2E_t$$

Assim, se um disco quadrafônico for tocado em um equipamento estéreo, os sinais-soma serão reproduzidos, enquanto os sinais-diferença, modulados, serão ignorados, isto fazendo com que o ouvinte possuidor de um equipamento estéreo não perca nada de uma gravação quadrafônica, visto que os sinais-soma são idênticos àqueles impressos num disco estereofônico.

Porém, se um disco estereofônico for colocado para tocar num equipamento quadrafônico, tipo CD-4, o sinal modulado de 30 KHz não existirá; portanto, os sinais E_f/E_t e D_f/D_t podem ser substituídos pelo número zero nas equações da figura 24. O canal detetor de alta freqüência é selecionado, de forma a eliminar a banda desnecessária que deteriora a relação sinal/ruído. O sinal $E_f + E_t$ é substituído por E, apenas, e o $D_f + D_t$, por D. Pode-se concluir então, que o sistema CD-4 é plenamente compatível com os sistemas estéreo.

Sistemas matriciais

Os sistemas matriciais são representados pelos sistemas: SQ, QS

e UMX, os quais serão agora analisados separadamente.

Sistema SQ - O sistema SQ - abreviação de "Stereo Quadraphonic" - foi desenvolvido simultaneamente pela CBS americana e Sony japonesa.

Esse sistema consiste em se combinar eletronicamente quatro canais de som em dois canais compostos, gravar esses dois canais em disco e, na ocasião da reprodução, elaborar a recriação dos quatro canais, também por meios eletrônicos.

Contrariamente ao sistema discreto, os sistemas matriciais sempre apresentam uma dose de "crosstalk" (interferência entre canais). A separação entre canais - grau de interdependência entre canais - em relação aos outros três, é medida em decibéis, como ainda teremos oportunidade de ver.

No sistema SQ, os quatro recebem o mesmo nome dos canais do sistema CD-4:

E_f - esquerdo frontal

E_t - esquerdo traseiro

D_f - direito frontal

D_t - direito traseiro

Os dois canais gravados que dão origem a esses quatro, recebem a designação ET (esquerdo total) e DT (direito total). Essa divisão de dois para quatro é efetuada no equipamento reprodutor, através de um decodificador de matriz.

Os primeiros decodificadores não conseguiam isolar completamente os canais e, em alguns casos, proporcionavam apenas uma separação mínima entre eles, de modo especial entre os da frente e os de trás, resultando sinais indesejáveis, defasados, que apareciam com muita freqüência nos alto-falantes traseiros, quando um certo sinal era destinado ao alto-falante frontal esquerdo. Da mesma forma, também nos alto-falantes dianteiros surgiam sinais defasados, quando um certo sinal era destinado ao alto-falante traseiro esquerdo, apresentando tais sinais nível igual a 0,707 do sinal útil e com tendência a destruir a separação desejada entre canais. Visando a eliminação (ou minimização) desses problemas, empregou-se técnicas, como a combinação dinâmica, para cancelar os sinais indesejáveis

O diagrama de blocos de um sistema de decodificação SQ, utilizando apenas três circuitos integrados e alguns periféricos, pode ser visto na **figura 25.**

Em relação aos primeiros sistemas de linha SQ, este, visto na figura 25, apresenta grande aperfeiçoamento, graças à aplicação de técnicas auxiliares que elevam o grau de separação entre canais. Dessa forma é possível obter um diagrama igual ao ilustrado na **figura 26**, o qual nos mostra o grau de separação entre os canais. Os números indicados estão em decibéis, e cada um dos círculos colocados nas pontas do quadrado simboliza um alto-falante ou caixa acústica.

Nesse novo sistema é atingida uma separação infinita entre os dois

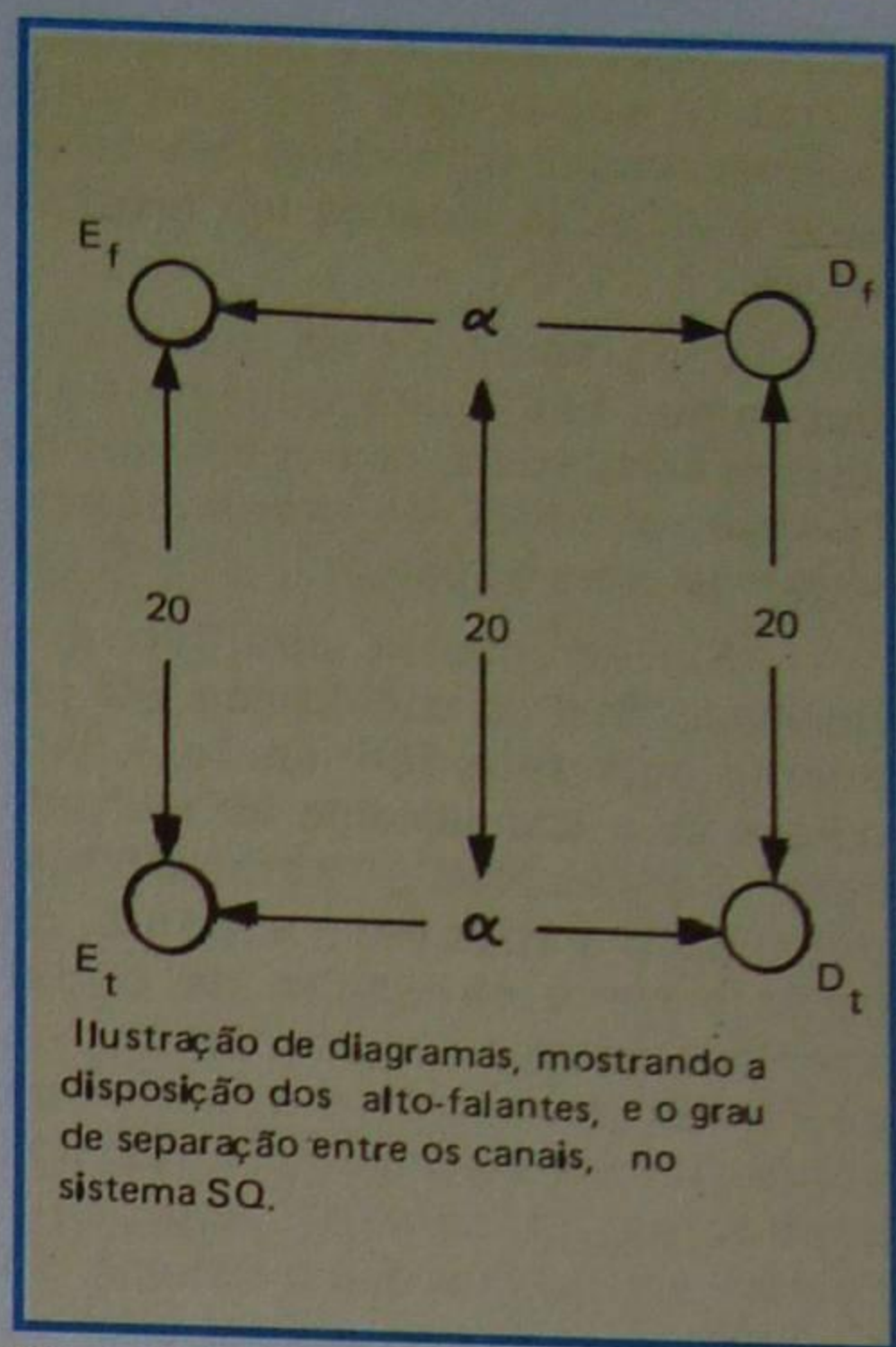



Figura 26 - Disposição dos alto-falantes no sistema SQ.

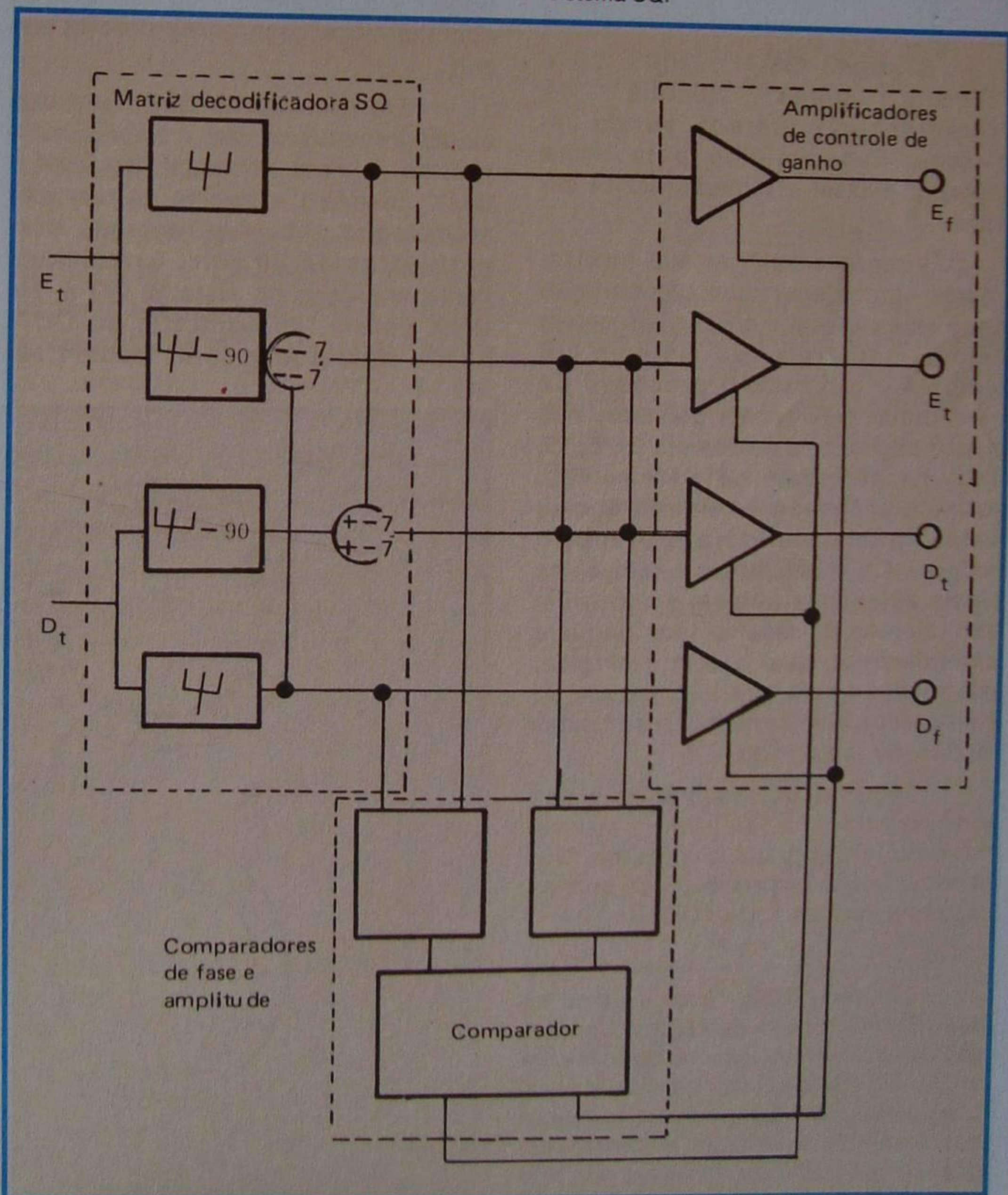



Figura 25 - Sistema aperfeiçoado de reprodução pelo sistema SQ.

alto-falantes traseiros e os dois dianteiros. A separação entre os alto-falantes traseiros, embora ainda não seja a ideal, já alcança um nível de 20 dB.

Diagramas como esse que ilustramos são muito utilizados em sistemas matriciais, com o enfoque de ilustrar o nível de dependência existente entre os canais.

Extremamente positivo é o resultado final da codificação SQ (de acordo com seus fabricantes), isto porque se o equipamento for utilizado com gravações compatíveis, possibilita variações, a ponto do ouvinte ter a sensação de poder escolher entre ficar na platéia, no pódio do maestro, no meio da orquestra, ou até mesmo atrás dos bastidores da sala de audições. Cumpre acrescentar que o sistema SQ é perfeitamente compatível com os equipamentos estéreo.

Sistema QS - A sigla QS é formada pelas iniciais de "Quadraphonic Stereo", sendo um sistema desenvolvido pela firma japonesa Sansui, e tornado público em 1970.

Visando simplificar sua análise, vamos estabelecer uma comparação entre este sistema e o SQ, visto serem ambos matriciais. No sistema QS também é utilizado o processo de transformar dois canais gravados nos quatro originais, divididos em E_f, E_t, D_f e D_t. Neste, como no sistema SQ, existe o problema de interferências entre canais, sendo, entretanto, o sistema QS mais preciso, isto é, os sinais defasados surgem sempre em alto-falantes do mesmo lado daquele alto-falante ao qual o som é dirigido, isto fazendo com que as imagens do som pareçam estar melhor localizadas na direção pretendida.

Técnicas de redução de sinais indesejáveis também foram desenvolvidas para o sistema QS, sendo que sua compatibilidade com os sistemas estéreo é satisfatória.

Sistema UMX - Este sistema foi desenvolvido pelo professor Cooper, dos Estados Unidos, em colaboração com o Dr. T. Shiga, do Japão, sendo considerado por muitos como o melhor dos sistemas matriciais, embora sem grande penetração comercial. Sua sigla é derivada de "Universal Matrix"; "Matriz Universal" pelo fato de ser compatível com sistemas estéreo e mono, podendo também ser gravado em disco e transmitido por FM.

Embora na teoria ele possa abrigar um número qualquer de canais, os sistemas mais comuns, derivados do UMX, são:

BMX - dois canais

TMX - três canais

QMX - quatro canais

Neste sistema (UMX), e esta é sua grande vantagem, com um equipamento relativamente barato, necessário apenas para decodificar os dois canais básicos do BMX, pode-se obter uma boa quadrafonia, podendo, no entanto, um terceiro (TMX) e um quarto (QMX) ser adicionado, requerendo equipamento mais sofisticado e fornecendo uma reprodução com uma localização mais precisa dos sons.

Em relação ao BMX, um dos sinais gravados contém o sinal-soma e o outro, o sinal-diferença. No TMX e QMX, terceiro e quarto canais são modulados em freqüências, com portadoras de 30 KHz, exatamente como acontece no sistema CD-4. No UMX porém, ao contrário do CD-4 esses canais adicionais podem ser introduzidos em uma faixa relativamente pequena, da ordem de apenas 3 KHz, sem que haja degradação no som reproduzido.

Os idealizadores do UMX, evidentemente, buscaram extrair as melhores características de um sistema discreto (CD-4) e de um sistema matricial (QS), reunindo-as em um só conjunto.

Finalizando, façamos uma comparação entre os quatro sistemas apresentados. Observando os diagramas da **figura 27**, temos o círculo exterior mostrando a posição original dos sons, na gravação, enquanto o círculo interior mostra a posição dos mesmos sons, na reprodução, após passarem pelo processo de codificação e decodificação de cada um dos sistemas.

Fica evidente que aqueles sistemas que permitem uma correspondência direta dos sons, do original para a reprodução, são os melhores, em termos de reprodução quadrafônica, enquadrando-se, neste caso, o sistema CD-4 e o UMX.

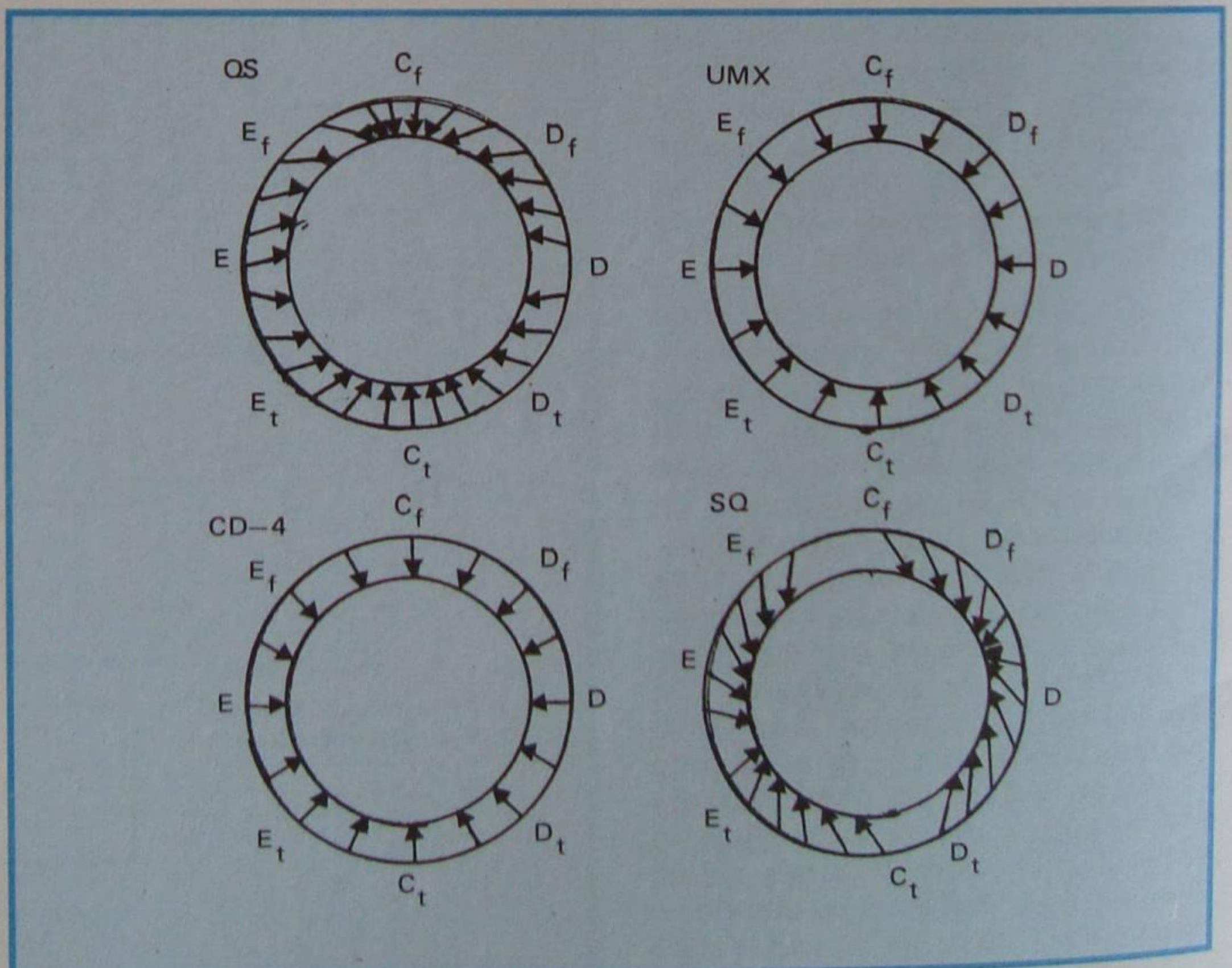



Figura 27 - Diagrama comparativo dos vários sistemas (QS, UMX, CD-4 e SQ) durante a gravação e reprodução.

CURSO DE ELETRÔNICA BÁSICA RÁDIO-TV
19ª LIÇÃO ESPECIAL
INSTRUMENTOS DE LABORATÓRIO

Gerador de Radiofreqüência

Um dos instrumentos que não deve faltar na bancada de trabalho, seja do montador ou do reparador de radiorreceptores, é o gerador de radiofreqüências. Esse instrumento é destinado a ajustar os circuitos sintonizados dos receptores; entretanto, desde que se conheça perfeitamente seu funcionamento, é possível aumentar sua área de utilização e aplicá-lo também na pesquisa de defeitos. Nesta lição especial, procuraremos orientar o aluno no sentido da compreensão do seu funcionamento e, conseqüentemente, melhor aproveitamento do gerador de RF, visto que os dados elementares para seu uso já foram apresentados em fascículo passo a passo.

Figura 1 - Diagrama em blocos de um gerador de RF.

I - O gerador

O gerador de radiofreqüências, obviamente, é um dispositivo que tem por função principal produzir ondas eletromagnéticas de RF. Trata-se, portanto, de um oscilador e, por isso, na prática também é conhecido como **oscilador de RF.**

O gerador de RF de uso em laboratório, além do oscilador de RF, contém outro oscilador, este de AF (audiofreqüência), cujo sinal modula o de RF. O diagrama de blocos do gerador de RF é aquele que mostramos na **figura 1**, cujos blocos passamos a analisar separadamente.

1 - Oscilador de RF

Como oscilador de radiofreqüências, pode-se utilizar qualquer dos circuitos apresentados na lição correspondente.

Todavia, dá-se preferência aos circuitos que apresentam elevada estabilidade de freqüência e baixa deformação da forma de onda. Dentre os circuitos preferidos pelos fabricantes de geradores de RF destacam-se o **Colpitts** e o de **Pierce.** Na **figura 2**, reproduzimos esses circuitos. Na realização prática do circuito oscilador, deve-se dar muita atenção para a quantidade do material empregado.

2 - Oscilador de AF

Como oscilador de áudio também é possível o emprego de qualquer circuito, todavia os mais utilizados são o de **Colpitts** ou **Hartley** e o circuito em **ponte de Wien**, sendo que esse último apresenta onda de forma mais pura, embora os primeiros sejam construtivamente mais simples. Na **figura 3**, reproduzimos esses dois últimos circuitos.

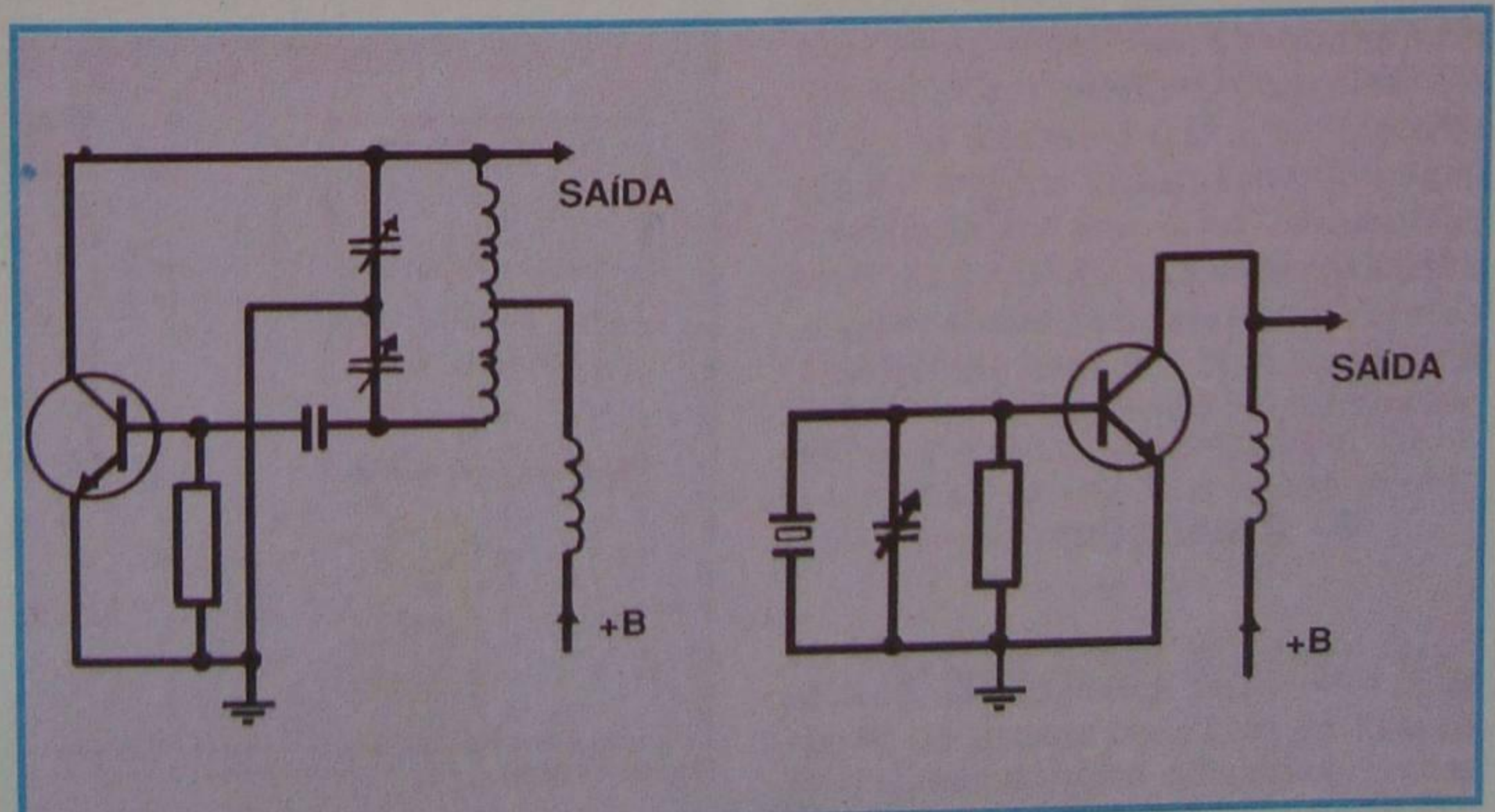



Figura 2 - Oscilador Colpitts e Pierce.

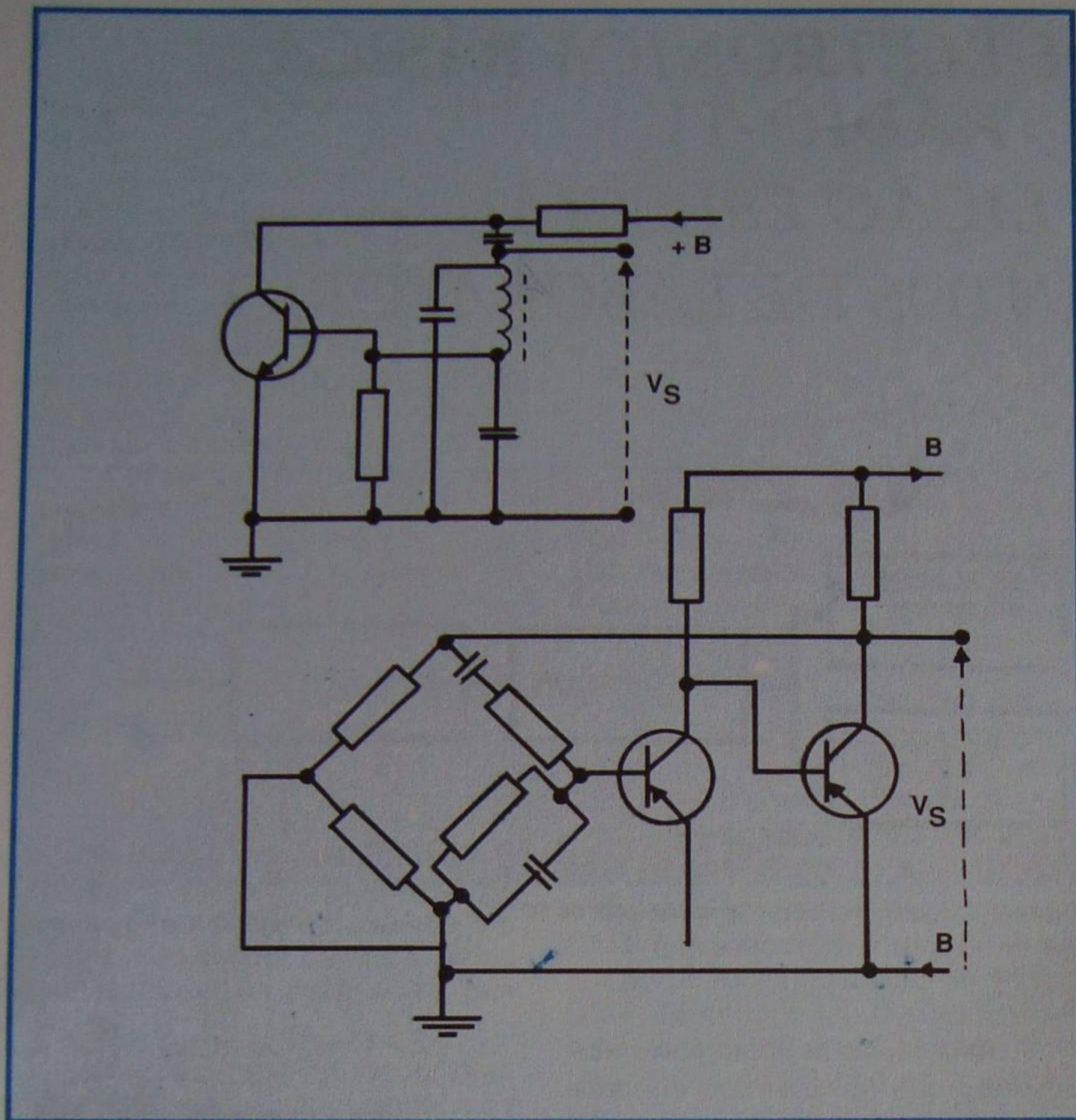



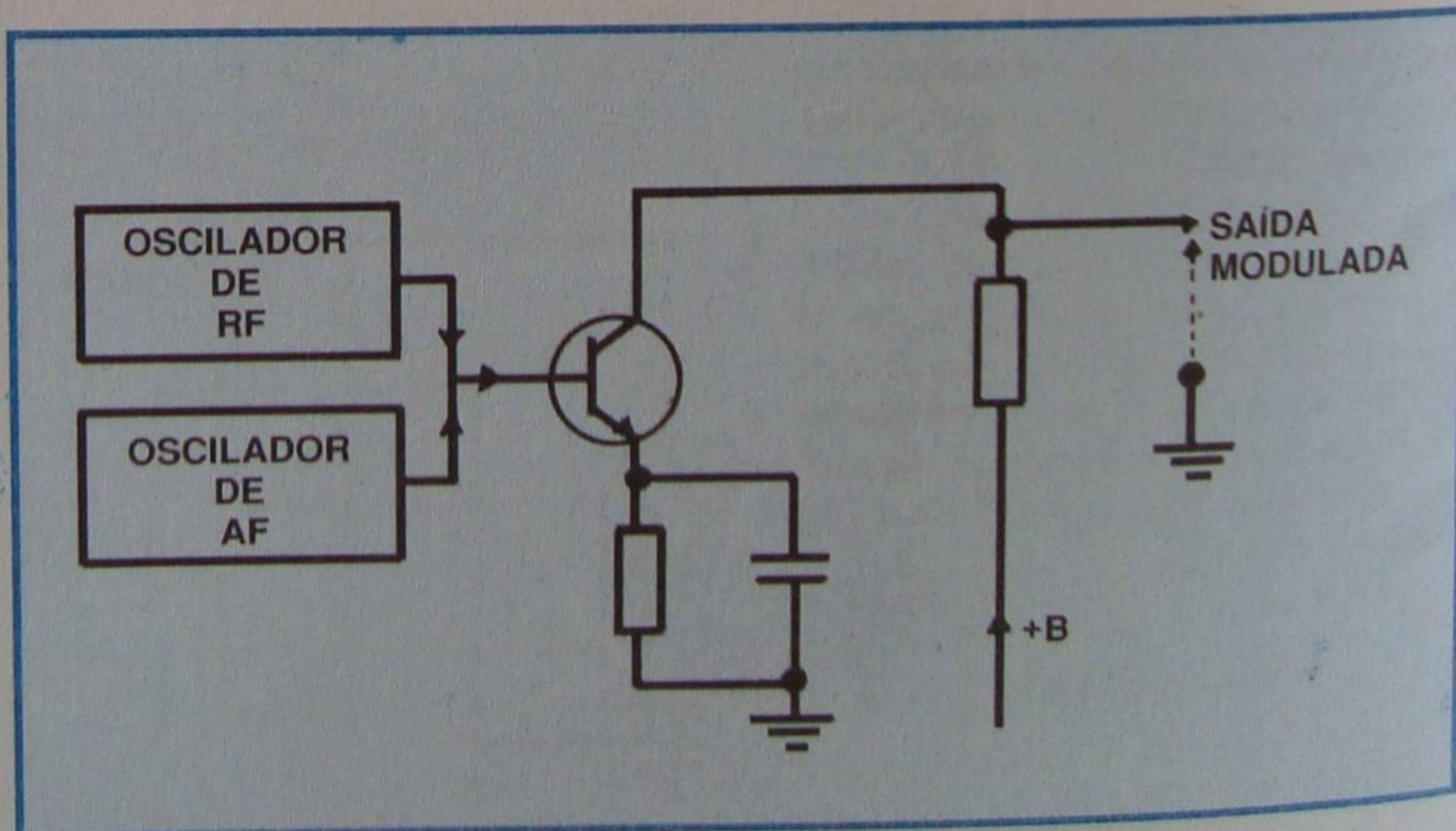
Figura 3 - Osciladores Hartley e ponte de Wien.

3 - Misturador

O misturador efetua a modulação da onda de RF pela onda de AF. Isto pode ser conseguido de inúmeros modos, sendo que o mais simples deles consiste em aplicar o sinal de áudio diretamente ao estágio oscilador. Esta prática é aceitável, mas adequada aos osciladores cujo elemento ativo é triódico (transistores), devido à carga que o gerador de áudio impõe ao oscilador. Via de regra, costuma-se empregar um transistor exclusivamente como misturador. Aplicam-se ambos os sinais à base e retira-se o sinal modulado no coletor. Na **figura 4**, mostramos uma disposição típica.

4 - Atenuador

Quando se "calibra" um receptor de rádio, é necessário aplicar o sinal (modulado ou não) em nível muito baixo, a fim de não saturar os circuitos amplificadores e para não alterar a curva de resposta dos circuitos sintonizados.

O nível de saída do gerador é sempre superior ao necessário, precisando, portanto, do adequado rebaixamento. Esse rebaixamento se consegue através de redes, chamadas de **atenuadores.** O atenuador mais elementar possível é o potenciômetro. Entretanto, ele não é eficaz na atenuação dos sinais de RF, por duas razões:

a) porque a sua resistência residual, ou seja, aquela existente mesmo que o potenciômetro esteja totalmente fechado, permite a passagem do sinal;

b) porque o sinal de RF passa pelo potenciômetro fechado, devido ao efeito capacitivo entre as partes do potenciômetro.

Em vista disso, é comum utilizar-se o potenciômetro como um ajuste fino da atenuação, e uma rede de resistores para proporcionar a atenuação mais forte.

Na **figura 5**, mostramos dois exemplos de atenuadores bastante utilizados na prática.

Juntando os estágios descritos, teremos um gerador de RF. É o que mostramos na **figura 6**.

Como o aluno pode perceber, o gerador de RF é um aparelho, eletronicamente, bastante simples. Entretanto, seu custo não é proporcional a essa simplicidade, devido ao cuidado que se deve tomar na sua confecção, no tocante à qualidade do material empregado, à precisão da escala e a alguns refinamentos de grande utilidade, que a maioria dos geradores possui.

Figura 4 - Misturador.

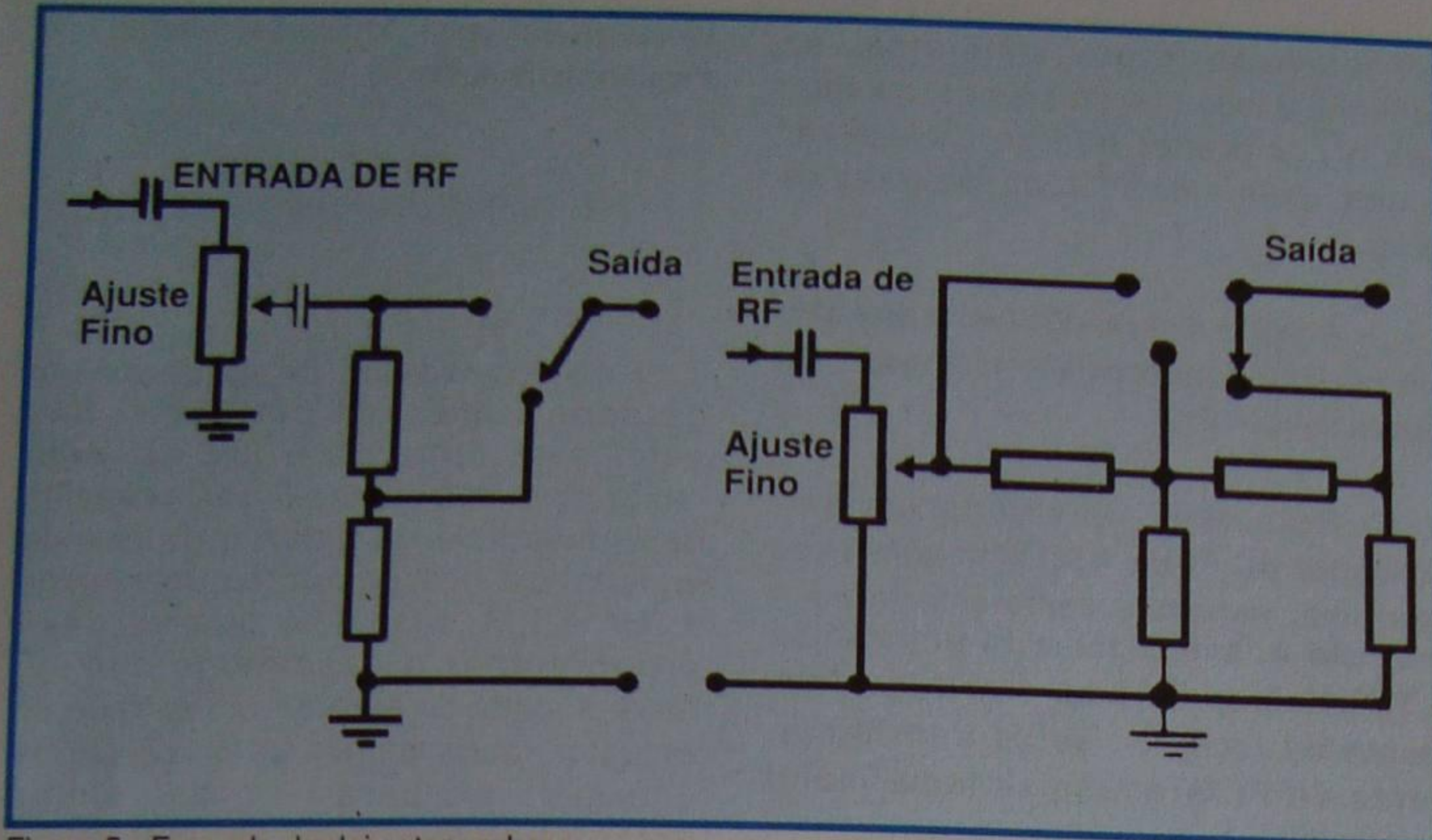



Figura 5 - Exemplo de dois atenuadores.

II - O gerador prático

Na figura 6, apresentamos o esquemas teórico de um gerador de RF; na prática esse esquema é melhorado pela introdução de componentes que permitam maior flexibilidade ao aparelho. Assim é que, para proporcionar vários alcances de freqüência, é usada chave comutadora, que permite substituir o indutor L correspondente à faixa de freqüencia desejada.

O oscilador de áudio geralmente tem freqüência fixa de 400 Hz; entretanto, alguns aparelhos possibilitam também um tom de **1 KHz e,** neste caso, é necessário o uso de mais uma chave comutadora. É útil que o sinal de áudio possa ser retirado independentemente do de RF, para que o aparelho possa funcionar como injetor de sinal e como oscilador de áudio, na prova de amplificadores de baixa freqüência. Para esse misturador, são necessários componentes adicionais, tais como chave comutadora, atenuador de áudio, bornes de ligação, etc.

Entre o modulador e o misturador, é comum situar-se uma chave que permite desligar a modulação, quando nos interessa exclusivamente a onda de RF pura, e também prever uma entrada para modulação externa.

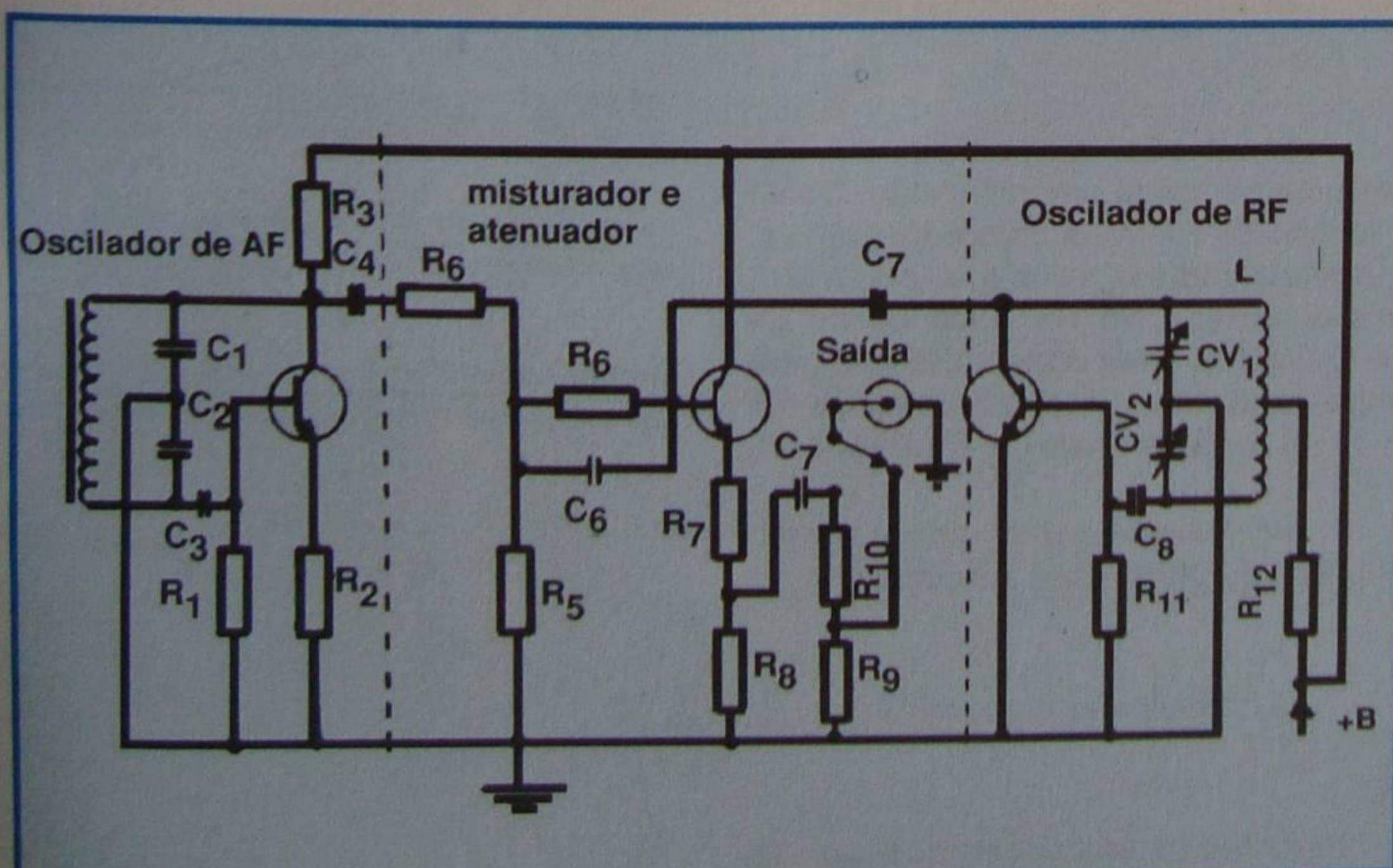



Figura 6 - Circuito de um gerador de RF.

Os geradores mais bem elaborados apresentam outros refinamentos, tais como o medidor de tensão de saída, medidor de profundidade de modulação, chave de espera ("standby"), cristal para calibração, etc.

A aparente simplicidade do gerador de sinais entusiasma o radiotécnico, a ponto de pensar na construção caseira do instrumento. Se bem que não seja nada difícil dimensionar as bobinas e os demais componentes do gerador, o construtor caseiro esbarra com a dificuldade da calibração e, conseqüêntemente, da construção da escala. De fato, para que o gerador inspire confiança, é necessário que suas freqüencias estejam dentro de um limite de precisão de cerca de 1% e, para calibrar suas bobinas, é imprescindível um padrão de freqüencia (ou freqüêncímetro) de precisão igual ou maior.

1 - Como adquirir o gerador

Temos salientado constantemente, que a aquisição de qualquer instrumento de laboratório requer uma judiciosa ponderação por parte do técnico, para evitar gastos inúteis com instrumentros cujas características não satisfaçam ou utrapassem suas necessidades. O gerador de RF não foge à regra

Em sendo assim, quando o aluno tiver de comprar um gerador de RF, em primeiro lugar deverá dar preferência a instrumentos de fabricantes idôneos e, por isso mesmo, de reputação comprovada. Devemos esclarecer que, mesmo dentro da linha de produtos dos fabricantes tradicionais de instrumentos, existem modelos que parecem comparar-se tecnicamente, mas que apresentam grande diferença de preço. Essa diferença é justificada pela sofisticação e melhor qualidade dos instrumentos mais caros. Cabe ao técnico saber escolher aquele que melhor lhe convém e, para isso, deve guiar-se pelas especificações principais, que são as seguintes:

a) Alcance de freqüência

Por alcance de freqüência entende-se a faixa de cobertura de.

freqüências do gerador. Para os trabalhos rotineiros de uma oficina de rádio AM, é suficiente que o gerador tenha faixa de cobertura desde 120 KHz até cerca de 30 MHz. Todos os circuitos sintonizáveis dos receptores de rádio, desde os de FI até os de RF, têm freqüência que caem dentro dessa faixa.

Obviamente, essa cobertura é dividida em várias faixas. Para maior facilidade de leitura, é aconselhável escolher o aparelho de maior número de faixas.

Muitos geradores comerciais para calibração de rádio têm faixa de cobertura que vai desde 120 KHz até cerca de 300 MHz e são anunciados como especiais para rádio e televisão. Isto nem sempre correspondente à verdade, no que tange à utilização, porque o circuito de TV necessita de precisão de freqüência e nível de saída maiores do que os exigidos para o rádio, e os instrumentos de custo mais modesto não atendem a esses requisitos. Além disso, as faixas mais elevadas são, normalmente, obtidas dos harmônicos das fundamentais, o que significa que a única diferença entre esse instrumento e o outro de menos cobertura está na existência de mais uma ou duas escalas calibradas nos harmônicos.

Para os trabalhos de ajuste de receptores de FM e televisores, é aconselhável adquirir um gerador de RF adequado a esse serviço. Tais geradores são de características especiais no que diz respeito à precisão e nível de saída e, por isso, os modestos geradores destinados à calibração de rádio AM são inadequados , mesmo que sua faixa de cobertura se estenda aos 300 MHz. Nas lições de televisão, abordaremos o assunto com maior profundidade.

b) Precisão

A precisão do gerador é indicada em porcentagem (%). Ela mostra em quanto por cento, para mais ou para menos, pode ser a diferença entre o valor real da freqüência do oscilador e o indicado na escala. É uma indicação de tolerância. Os geradores de baixo custo, geralmente, têm precisão entre ±1 e ± 3%. Tal valor, embora tolerável em ajuste de rádio, não tem propósito em televisão, o que mais uma vez confirma aquilo que afirmamos, ou seja, que o comprador não se deve levar apenas pela indicação da cobertura de faixas.

Imagine o aluno que tenha adquirido um gerador com precisão indicada pelo fabricante de ± 2%.

Pois bem, ajustando um amplificador de FI de 455 KHz com esse aparelho, podemos cometer erro de ± 2%, isto é, sintonizar a FI entre 455± 9,1 KHz e comprometer o funcionamento do receptor, se os transformadores de FI forem de sintonia muito aguda.

Seria desejável que os geradores de RF tivessem maior precisão, mas, lamentavelmente, os de custo médio estão nessa faixa de tolerância.

c) Estabilidade

Por estabilidade entende-se a constância da freqüência com a variação do tempo e da tensão de alimentação. Costuma ser indicada em porcentagem de variação da freqüência pela porcentagem de variação da tensão de alimentação. Para os geradores de custo moderado, nem sempre é indicada a estabilidade em suas especificações.

d) Tensão de saída de RF

A tensão de saída de RF costuma ser dada em microvolts. Como a tensão de RF varia com a freqüência, é comum indicar-se a que cobertura dessa tensão de RF é de cerca de 1000 000 µV, valor esse suficiente para todos os ajustes. Os geradores para FM e TV têm saída maior, geralmente de 1 V.

Se a saída variar com a carga, ela, a saída, deverá ser indicada.

e) Tensão de saída de AF

É muito útil saber que tensão de saída de áudio pode ser obtida do gerador. Essa tensão costuma ser indicada em volts. Indica-se, também, a freqüência de áudio.

f) Impedância de saída

A impedância de saída de um gerador é indicada em Ohms. Seu valor está entre 50 e 600 Ω. Valor muito comum é 75 Ω. O conhecimento da impedância de saída é de grande importância nos geradores destinados a TV e FM, uma vez que se deve proporcionar o casamento correto entre a saída do gerador e a entrada do receptor, para melhor transferência de energia e para evitar ondas estacionárias, que dificultam a calibração.

g) Especificações mecânicas

Aqui são indicadas as dimensões do gerador seu peso, dimensão da escala (dial), etc.

h) Outras especificações

Muitos fabricantes, além das especificações de maior interesse, como as que acabamos de enumerar, dão outras sobre o consumo do aparelho, tensão de alimentação, identificação dos componentes ativos (transistores), etc.